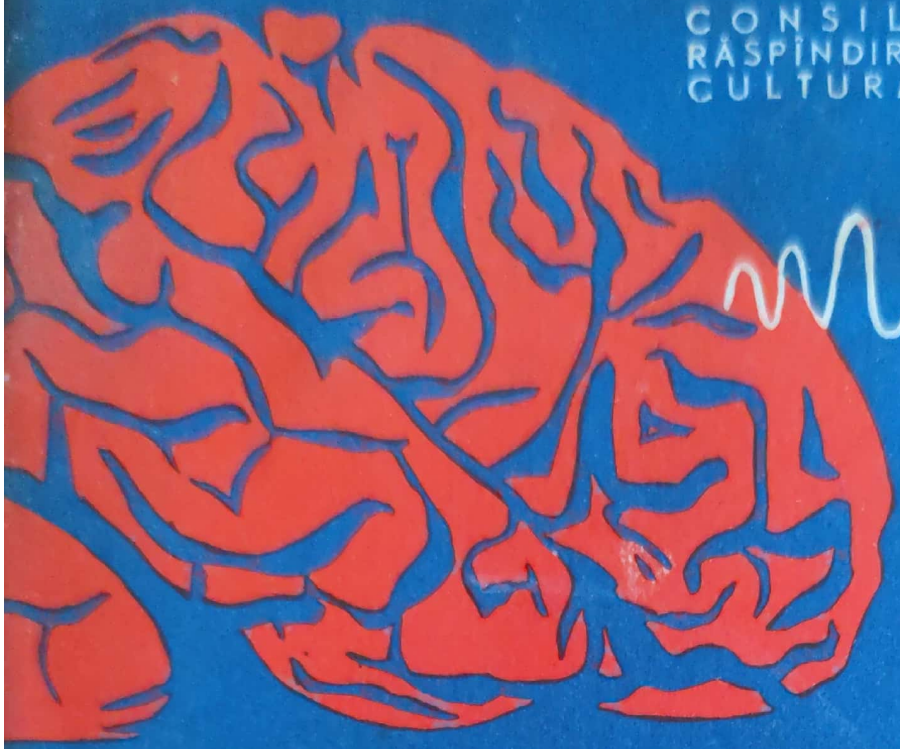
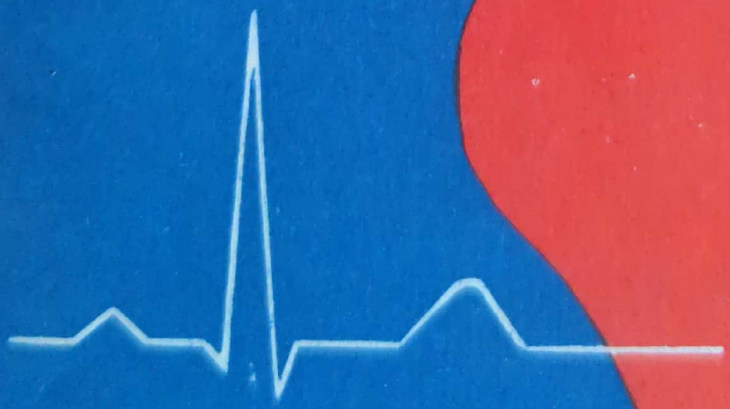
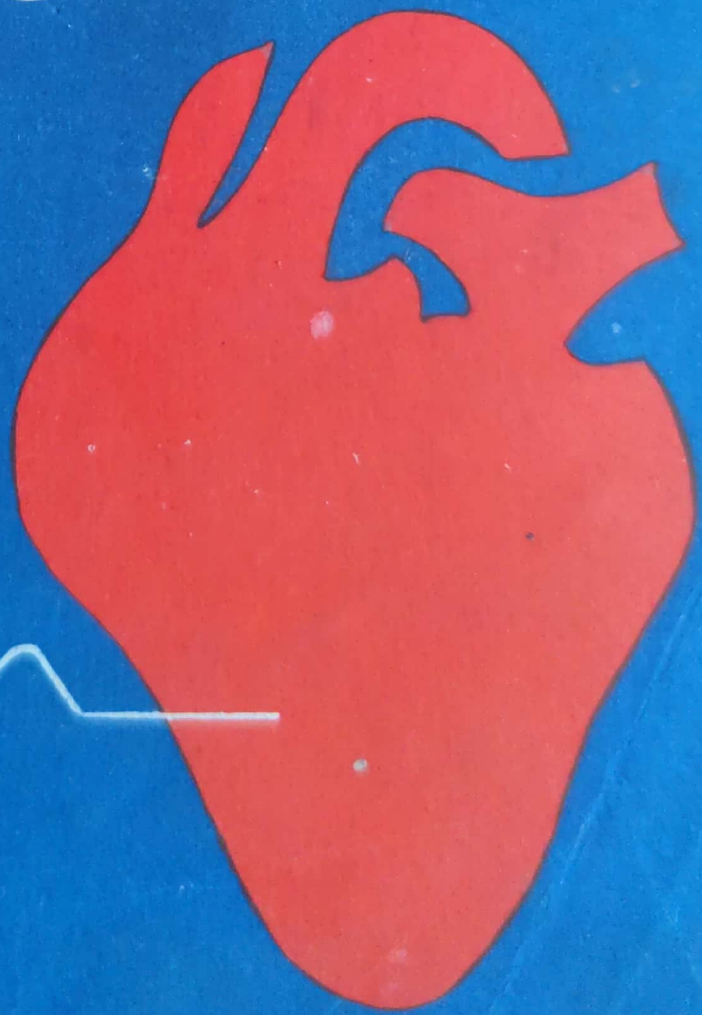
CONSILIUL PENTRU
RĂSPÎNDIREA CUNOȘTINȚELOR
CULTURAL-ȘTIINȚIFICE



electricitatea corpului omenesc

Dr. E. BITTMAN





Scanned with OKEN Scanner

CONSILIUL PENTRU RĂSPÎNDIREA CUNOŞTINŢELOR CULTURAL-ŞTIINŢIFICE

Dr. E. BITTMAN
Candidat în ştiinţe medicale

Electricitatea corpului omenesc

Colecţia
„NATURA FĂRĂ TAINE"

EDITURA ŞTIINŢIFICĂ — BUCUREŞTI 1965

Scanned with OKEN Scanner

Limbajul omului modern se îmbogăţeşte necontenit cu termeni noi, reprezentînd noţiuni noi, ce ilustrează faptul că omul pătrunde zi de zi tot mai adînc în cunoaşterea fenomenelor naturii.

Dacă mulţi dintre noi s-au obişnuit cu termeni ca electrocardiograma *sau* electroencefalograma, *mai puţini sînt acei care ştiu care este sursa de electricitate din corpul omenesc, cum a fost descoperită şi ce importanţă practică a căpătat cunoaşterea şi înregistrarea ei.*

Vom încerca să lămurim aceste lucruri în paginile ce urmează.

Scanned with OKEN Scanner

INTRODUCERE

De la boală la diagnostic

...Un om sapă cu putere. Deodată, o durere vie în partea stîngă a toracelui, în dreptul inimii, îl obligă să-şi întrerupă lucrul. Se odihneşte cîteva minute, durerea dispare şi omul nostru îşi vede mai departe de treabă. Dar, după un nou efort fizic, durerea reapare. Cu timpul, aceste neplăceri se repetă tot mai des şi se ivesc la eforturi din ce în ce mai mici. Se consultă un medic. Acesta, după ce examinează bolnavul, nu constată aparent nimic anormal. Şi totuşi, bolnavul suferă. Un singur examen poate preciza diagnosticul în acest caz : *electrocardiograma.*

...Un bolnav este internat de urgenţă într-un spital ; se plînge de o durere atroce în dreptul inimii de parcă ar fi prins într-o gheară. Are sau nu are acest bolnav un infarct miocardic, adică o astupare a arterelor care hrănesc cu sînge muşchiul inimii, miocardul ? Şi în acest caz, electrocardiograma precizează diagnosticul.

...Un copil, aparent sănătos, face într-o zi o criză de convulsii. Părinţii, speriaţi, duc copilul la un medic. Este sau nu este epilepsie ? Dacă medicul examinează copilul chiar în timpul crizei, poate pune diagnosticul numai pe baza examenului clinic. Dar dacă criza a trecut ? În acest caz, un singur

Scanned with OKEN Scanner

examen poate confirma diagnosticul de epilepsie : *electroencefalograma.*

...Un bolnav se prezintă la medic plîngîndu-se de o serie de tulburări : ameţeli, dureri de cap, pierderea echilibrului, slăbirea vederii etc. Medicul care-l examinează suspectează existenţa unei tumori cerebrale. Cum se poate preciza diagnosticul ? Se face electroencefalograma care, în multe cazuri, poate indica prezenţa şi localizarea unei tumori cerebrale.

Aceste cîteva exemple scot în evidenţă importanţa deosebită pe care o are pentru medicină înregistrarea fenomenelor electrice ce însoţesc activitatea ţesuturilor şi organelor din corpul omenesc.

Celulele vii produc electricitate

„Electrocardiograma", „electroencefalograma" — ambele cuvinte conţin în denumirea lor termenul „electric". De ce ? Pentru că ambele cuvinte definesc examene medicale care constau din înregistrarea manifestărilor electrice ale unor organe în activitate : în primul caz — inima, în al doilea caz — creierul. Astăzi, se ştie că orice organ viu produce curent electric ; acest curent, care se exprimă sub forma biopotenţialelor, a potenţialelor biologice, este extrem de slab — de ordinul milionimilor sau miimilor de volt — dar, cu mijloacele perfecţionate pe care le avem în prezent, el poate fi pus în evidenţă şi înregistrat [1].

Existenţa electricităţii biologice, adică a electricităţii produse de celulele vii, a fost presupusă încă de la sfîrşitul secolului al XVIII-lea, dar electrofiziologia, acea ramură a fiziologiei care se ocupă cu studierea manifestărilor electrice ale celulelor şi organelor, nu a făcut progrese rapide şi importante

[1] Curentul electric produs de ţesuturile vii este atît de mic, încît, ca să aprindem, de exemplu, becul unei lanterne obişnuite de buzunar, ar fi necesar să punem la un loc curentul produs de aproximativ 200 de inimi de om.

Scanned with OKEN Scanner

decît în ultimele decenii, paralel cu dezvoltarea electronicii, electrochimiei, biofizicii.

Fiziologia modernă și medicina, în general, nu mai pot fi concepute în momentul de față fără utilizarea tehnicilor și datelor pe care le-au descoperit electrofiziologii și care au permis nu numai să se precizeze diagnosticul în multiple afecțiuni cardiace, nervoase sau musculare, dar au dat și posibilitatea de a se lămuri numeroase aspecte ale mecanismelor de funcționare a organismului. Chiar rezolvarea problemelor biologice legate de zborurile cosmice nu ar fi fost posibilă fără descoperirea electrocardiografiei și a electroencefalografiei.

Scanned with OKEN Scanner

SCURTĂ ISTORIE A UNEI MARI DESCOPERIRI

O labă de broască se mișcă în bătaia vîntului

Bologna, 20 septembrie 1786.

Fizicianul și fiziologul Luigi Galvani (1737—1798) tocmai terminase niște experiențe pe broaște și pusese la uscat pe balconul casei cîteva labe de broască, suspendate cu cîrlige de cupru. Un vînt ușor adia deasupra orașului. Galvani se odihnea după o zi de muncă, privind distrat la trecătorii de pe stradă, la casele din jur, la labele de broască puse la uscat. Deodată, atenția îi fu atrasă de un fenomen curios : la fiecare adiere mai puternică a vîntului, extremitatea labelor de broască se atingea de balustrada de fier a balconului și la fiecare contact cu fierul mușchii labelor se contractau. Galvani rămase pe gînduri : care era cauza acestor contracții musculare ? Sînt ele o simplă întîmplare sau este vorba de un fenomen ce poate fi reprodus și după voința omului ?

Răspunsul la aceste întrebări l-au adus numeroasele experiențe efectuate de Galvani ulterior. În cursul cercetărilor sale, Galvani — lucrînd pe un preparat nerv-mușchi [1] de broască — observă că, atunci cînd se unește mușchiul cu nervul respectiv printr-un circuit exterior, format din două lame metalice diferite, mușchiul se încordează, se contractă. Pentru a

[1] Prin preparat nerv-mușchi se înțelege un mușchi izolat din organism împreună cu nervul lui.

explica acest fenomen, Galvani consideră că mușchiul și nervul sînt încărcați cu electricități de sens opus care, atunci cînd circuitul electric este închis prin metale, sînt puse în legătură și dau naștere contracției.

Interpretarea lui Galvani a fost puternic combătută de un alt mare fizician din acea vreme, Alessandro Volta (1778—1819). Acesta susținea că între nerv și mușchi nu există nici o diferență de potențial [1] și că ceea ce declanșează contracția este diferența de potențial care ia naștere între cele două metale diferite sau la contactul între metale și țesuturile vii.

Disputa științifică dintre Galvani și Volta a durat cîțiva ani. Ea are o deosebită importanță nu numai ca document istoric, ci și pentru faptul că, în focul luptei pentru adevăr, stimulați de dorința de a aduce cît mai multe argumente obiective pentru susținerea concepțiilor proprii, Volta descoperă pila electrică (acumulatorul) — etapă fundamentală în dezvoltarea cunoștințelor despre electricitate, iar Galvani demonstrează posibilitatea contracției musculare fără intervenția metalelor, punînd astfel bazele electrofiziologiei.

Laba „galvanoscopică"

Pentru a-și apăra teza sa, Galvani a făcut următoarea experiență : a izolat din organismul broaștei un preparat nerv-mușchi și — cu o baghetă de sticlă — a aplicat brusc nervul pe un al doilea mușchi. Fiecare aplicare a nervului pe cel de-al doilea mușchi producea contracția primului mușchi. Acest fenomen a fost interpretat ca o dovadă că țesuturile vii sînt

[1] Intre două corpuri încărcate cu cantități diferite de electricitate se creează o diferență de potențial electric. Dacă cele două corpuri sînt puse în legătură prin intermediul unui fir bun conducător de electricitate, stabilindu-se astfel un circuit electric, se produce o scurgere de curent de la corpul încărcat cu mai multă electricitate (potențial electric mai mare) la cel cu mai puțină electricitate (potențial electric mai mic). Cînd se produce brusc o diferență de potențial între un corp oarecare și țesutul viu, acesta este excitat, adică pus în stare de activitate.

Scanned with OKEN Scanner

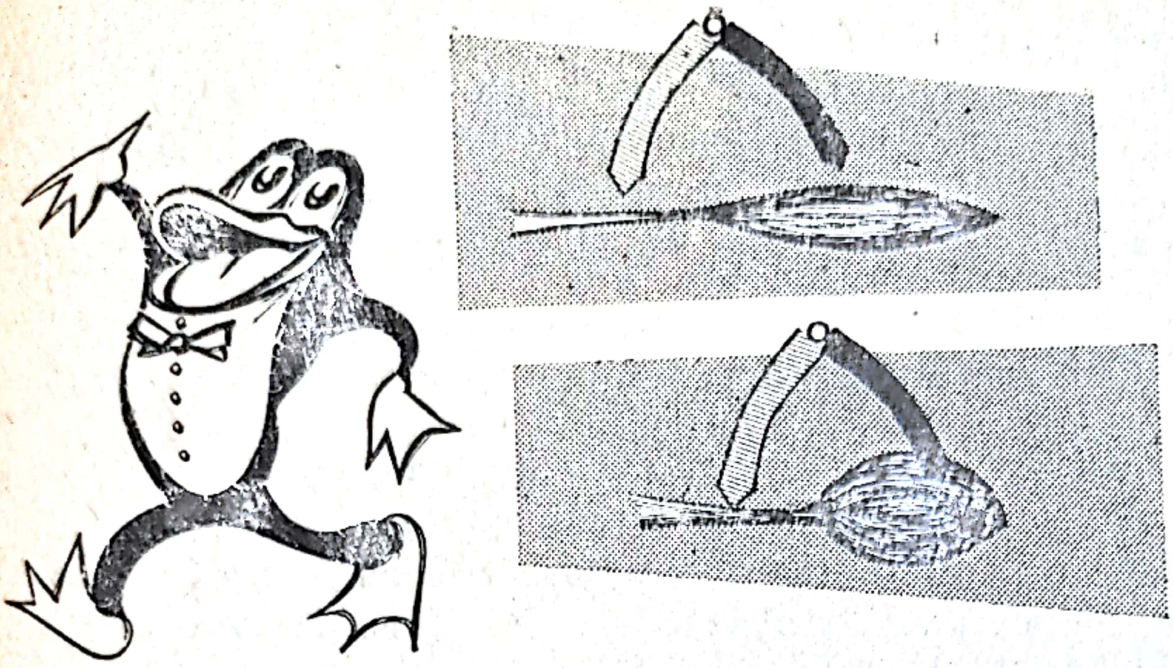


Fig. 1. Experiența lui Galvani. Cînd între un mușchi și nervul lui se stabilește un circuit exterior format din două lame metalice din metale diferite, mușchiul se contractă.

un izvor de manifestări electrice, fără intervenția vreunui metal.

Mai tîrziu, în 1842, un alt fizician, Carlo Matteuci, din Pisa, demonstrează că dacă se excită nervul unui mușchi — ceea ce declanșează contracții ale mușchiului respectiv — iar pe acest mușchi se aplică nervul altui mușchi, și acest al doilea mușchi se contractă la rîndul lui. Matteuci a tras concluzia că, în primul mușchi, în timpul contracțiilor, iau naștere diferențe de potențial care excită nervul celui de-al doilea mușchi. Acest montaj experimental este cunoscut sub numele de laba „galvanoscopică" sau laba „reoscopică", pentru că al doilea preparat nerv-mușchi joacă rolul unui galvanometru [1], unui detector care pune în evidență variațiile de potențial din primul mușchi.

Experiențele lui Matteuci au fost confirmate de ilustrul fiziolog german Emil Du Bois-Reymond (1818—1896) care, făcînd cercetări pe preparate nerv-mușchi de broască, demonstrează că nu numai preparatul nerv-mușchi, ci chiar

[1] Aparat care pune în evidență existența curentului electric.

Scanned with OKEN Scanner

mușchiul însuși poate produce electricitate ; această electricitate a primit numele de „curent muscular". Apariția cărții lui Du Bois-Reymond *Untersuchungen über tierische Elektrizität* (Cercetări asupra electricității animale) marchează nașterea electrofiziologiei ca disciplină independentă.

Curentul „de demarcație"

Du Bois-Reymond a elaborat o teorie după care orice mușchi are, în condiții de repaus, o diferență de potențial electric *(potențialul de repaus)* între mijlocul mușchiului (care ar fi încărcat cu electricitate pozitivă) și tendoanele situate la extremitățile mușchiului (care ar fi negative din punct de vedere electric).

Du Bois-Reymond credea că, dacă se lezează mușchiul (prin ciupire, tăiere, înțepare etc.), potențialul de repaus se mărește. Această concluzie a fost însă combătută de elevul său, Ludi-

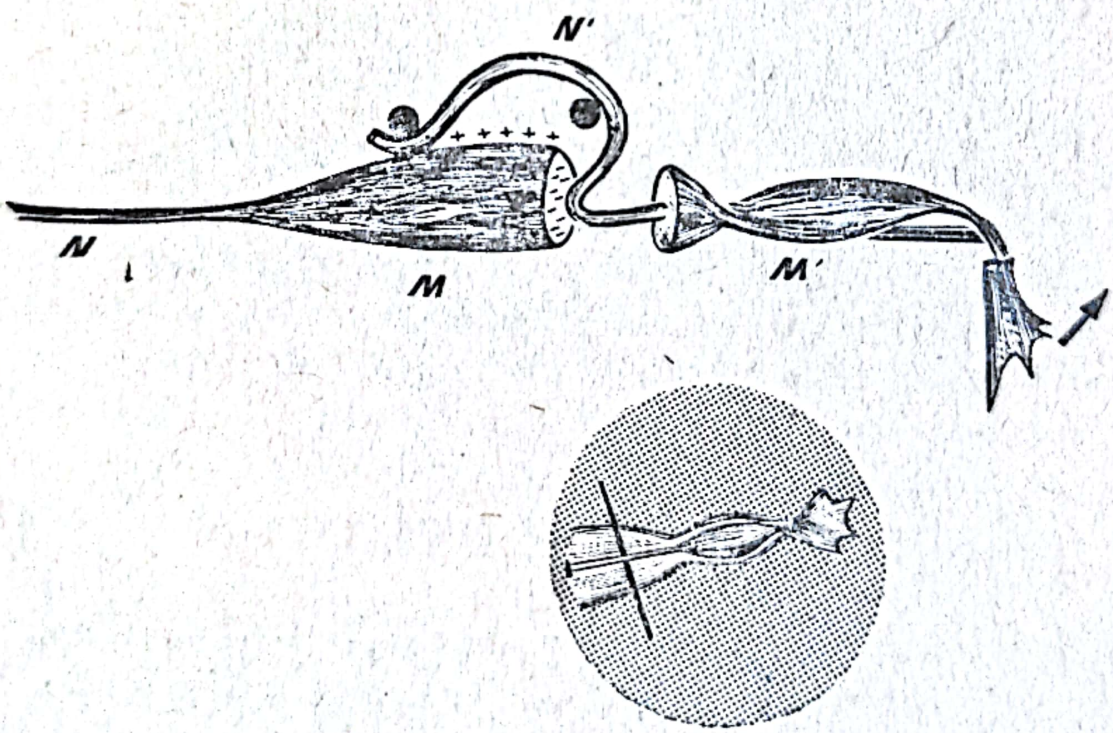


Fig. 2. Laba galvanoscopică.
Aplicarea bruscă a nervului N' pe mușchiul M determină contracția mușchiului M' al preparatului neuromuscular. Acest fenomen se explică prin existența unei diferențe de potențial între suprafața lezată (negativă) și cea intactă (pozitivă) a mușchiului M. În medalion, un preparat neuromuscular de broască.

Scanned with OKEN Scanner

mar Hermann, care susținea că în absența leziunii nu există potențiale de repaus și că orice curenți electrici care apar în nervul și mușchiul în repaus sînt datoriți leziunii ; Hermann descrie diferențele de potențial care se produc între partea lezată și cea intactă a unui mușchi sub denumirea de *curenți de demarcație*, vrînd să sublinieze prin acest termen că este vorba de curenți care iau naștere în regiunea de trecere, de demarcație dintre zona intactă și cea lezată a unui țesut.

Experiențele ulterioare au dovedit că atît Du Bois-Reymond cît și Hermann aveau dreptate, însă numai în parte.

Teoria membranei

Du Bois-Reymond afirma că de-a lungul suprafeței mușchiului și nervului sînt aranjate o serie de „particule electromotoare", regulat orientate. Această concepție a fost dezvoltată de elevul său, Julius Bernstein, în cunoscuta sa teorie a membranei (1902), care stă la baza teoriilor moderne ce explică apariția biopotențialelor nervoase și musculare.

În esență, teoria lui Bernstein consideră că membrana (adică învelișul) unei fibre inactive nervoase sau musculare este în mod normal *polarizată*, avînd ioni [1] pozitivi la suprafață și ioni negativi la interior. În timpul activității, adică în timpul propagării excitației prin nerv sau mușchi, membrana devine negativă la exterior și pozitivă în interior : ea se *depolarizează*.

Teoria lui Bernstein, asupra căreia vom mai reveni, a fost acceptată ca atare mulți ani de-a rîndul. În ultimele două decenii ea a fost revizuită și completată, pe baza numeroaselor date noi obținute de biochimie, electrochimie, biofizică și electrofiziologie.

[1] Prin ion se înțelege un atom sau o moleculă care a pierdut sau cîștigat electroni, încărcîndu-se în felul acesta cu electricitate pozitivă sau negativă.

Scanned with OKEN Scanner

Electrofiziologia și tehnica secolului al XX-lea

Dacă secolul al XIX-lea a văzut punîndu-se bazele electrofiziologiei — știința despre electricitatea țesuturilor vii — secolul al XX-lea a adus cu sine un număr important de dispozitive de captare, de amplificare și de înregistrare a manifestărilor electrice ale organelor în activitate, ceea ce a permis să se cunoască mai în amănunt diversele tipuri de biocurenți, modul cum iau naștere aceștia și influența pe care o exercită asupra lor diferitele condiții fiziologice și patologice.

Un moment important în dezvoltarea electrofiziologiei l-a constituit apariția galvanometrului cu coardă (1903), aparat care a permis să se înregistreze variațiile foarte mici de potențial, de ordinul miimilor de volți, produse de inimă sau alți mușchi în cursul contracției. Mai tîrziu, dezvoltarea tehnicii de amplificare prin lămpi electronice și inventarea tubului catodic au dat posibilitatea să se amplifice și să se înregistreze fără deformări biocurenți extrem de mici, de ordinul milionimilor de volt, cum sînt cei produși de țesutul nervos.

Introducerea oscilografului catodic în cercetări de către J. Erlanger și H. S. Gasser în 1922 marchează începutul electrofiziologiei moderne. De atunci și pînă în 1940, electrofiziologia se dezvoltă rapid. În 1939, se deschide o nouă etapă în electrofiziologie prin cercetările începute de A. L. Hodgkin și A. F. Huxley [1], care introduc înregistrările cu microelectrozi [2] în studiul biopotențialelor celulei nervoase.

În sfîrșit, apariția sistemelor de amplificare bazate pe utilizarea tranzistorilor a făcut posibilă înregistrarea biocurenților de la zeci și sute de kilometri, deoarece sistemele de amplificare construite cu ajutorul tranzistorilor au o greutate

[1] Laureați ai Premiului Nobel pentru medicină pe anul 1963.
[2] Electrozi de sticlă avînd vîrful extrem de fin, care pot fi introduși într-o celulă vie fără s-o lezeze.

Scanned with OKEN Scanner

foarte mică și pot fi introduse cu ușurință în interiorul navelor cosmice.

Astăzi, electrofiziologia a devenit un domeniu extrem de vast, iar cunoștințele impresionante acumulate au făcut necesară specializarea cercetătorilor pe diverse subdiviziuni: unii se ocupă de biocurenții produși de inimă, alții — de curenții electrici ai țesutului nervos, alții — de biocurenții țesutului muscular și așa mai departe.

De la primele experiențe ale lui Galvani și pînă la cercetările moderne care studiază, cu ajutorul microelectrozilor, potențialele bioelectrice ale unei singure celule, electrofiziologia a străbătut un drum lung și greu, pe parcursul căruia savanți din multe țări ale lumii și-au adus contribuția ca tainele smulse naturii să fie cît mai numeroase. Și poate că în nici o altă ramură a biologiei nu se vede mai bine legătura strînsă care există între progresul cunoștințelor fundamentale și dezvoltarea tehnicii în general.

Scanned with OKEN Scanner

ELECTRICITATEA ȚESUTURILOR VII

Apariția unor fenomene electrice în țesuturile vii reprezintă una dintre manifestările fundamentale ale vieții celulelor. Așa cum consumă oxigen, glucoză, grăsimi, proteine și alte substanțe pentru a produce energia necesară menținerii funcțiilor și a constituției normale, tot așa în celulă apar, ca rezultat al acestor schimburi metabolice [1], diferențe de potențial electric — *potențialele biologice* sau *biopotențialele*. Aceste diferențe de potențial există atît în timpul repausului celular, cît și în timpul activității celulelor. De aceea, se distinge un *potențial de repaus* și un *potențial de acțiune*.

Potențialul de repaus

Fiecare celulă prezintă la exterior un înveliș, o membrană celulară. Între suprafața externă și cea internă a membranei celulare există o diferență permanentă de potențial, care a fost denumită *potențial de repaus*. Cum poate fi demonstrată existența acestui potențial?

[1] Prin metabolism se înțelege totalitatea reacțiilor biochimice care au loc într-o celulă vie. Metabolismul cuprinde două procese: sinteza și desfacerea substanțelor care intră în compoziția celulei. În mod normal, cele două procese coexistă, însă predomină unul dintre ele.

Scanned with OKEN Scanner

Să secționăm un nerv sau un mușchi și să punem cîte un electrod (plăcuță metalică) pe fiecare dintre cele două suprafețe — cea intactă și cea de secțiune. Dacă între cei doi electrozi stabilim un circuit cu ajutorul unui fir metalic, iar în circuit plasăm un galvanometru sensibil [1] sau un voltmetru electronic[1], vom constata că suprafața intactă este pozitivă, în timp ce suprafața de secțiune (de leziune) este negativă. Între cele două suprafețe apare o diferență de potențial electric care este de 30—50 mV (1 mV = 1 milivolt = a mia parte dintr-un volt) în cazul mușchiului și de 20—40 mV în cazul nervului. Deoarece potențialul de repaus se evidențiază cu ocazia producerii unei leziuni, el se mai numește *potențial de leziune* sau *de demarcație*.

Această schimbare între polaritatea pozitivă de la exteriorul celulei și polaritatea negativă din interiorul celulei se realizează în mod brusc la nivelul membranei celulare. Faptul a fost susținut mai de mult de diverși oameni de știință, însă a putut fi dovedit în mod direct de-abia după 1949, cînd doi cercetători, Ling și Gerard, au pus la punct tehnica înregistrării potențialelor celulare cu ajutorul microelectrozilor.

Microelectrozii sînt electrozi (tuburi) de sticlă, umpluți cu o soluție bună conducătoare de electricitate și al căror vîrf are un diametru mai mic de 1 μ (1 μ = 1 micron = a mia parte dintr-un milimetru). Fiind atît de fini, microelectrozii nu lezează celulele în care pătrund și nu le modifică funcțiile. Utilizîndu-se această tehnică, s-a putut constata că în momentul în care un microelectrod străbate membrana celulară, între acesta și un electrod plasat la exteriorul membranei apare brusc o diferență de potențial de 80—90 mV. Potențialul de repaus este, deci, în realitate un potențial de repaus de membrană.

---

[1] Aparate capabile să pună în evidență diferențe foarte mici de potențial.

Scanned with OKEN Scanner

Am văzut că, în cazul unei leziuni, diferența de potențial între suprafața intactă și cea lezată a mușchiului este numai de 30—50 mV. Acest fapt se explică prin scurtcircuitarea celor două suprafețe ale membranei la nivelul leziunii, de către lichidul celular ce se prelinge în jurul leziunii ; scurtcircuitarea reduce diferența de potențial de la 90 la 30—50 mV.

Membrana celulară este deci *polarizată*, avînd sarcinile negative în interior și sarcinile pozitive în exterior. S-a demonstrat că aproape toate celulele vii din regnul animal și vegetal au membrana polarizată negativ în interior și pozitiv în exterior (fac excepție unele alge, care au membrana polarizată în sens invers), cu o diferență de potențial de aproximativ 80—90 mV.

Existența potențialului de repaus constituie o nouă dovadă că materia vie nu se găsește niciodată într-o stare de repaus absolut. Chiar într-o celulă vie aparent inactivă, au loc permanente modificări biochimice și bioelectrice.

„Pompele" de sodiu și de potasiu

Cercetările pentru lămurirea mecanismului prin care se realizează polarizarea membranei celulare au început încă din primele decenii ale secolului nostru, însă precizări importante în această privință au fost aduse de-abia în ultimii 15—20 de ani, în special prin lucrările lui Hodgkin și Huxley, de care am mai amintit.

Astăzi, se consideră că potențialul de repaus se datorește unei inegalități de concentrație a diverșilor ioni ce există la interiorul și la exteriorul membranei celulare. Astfel, spre interior există mari cantități de ioni de potasiu (K^+), încărcați pozitiv, în timp ce spre exterior sînt concentrați ioni de clor (Cl^-), încărcați negativ, și ioni de sodiu (Na^+), încărcați pozitiv. Potasiul concentrat în interior tinde să difuzeze spre exterior, iar clorul și sodiul tind să pătrundă în celulă.

Scanned with OKEN Scanner

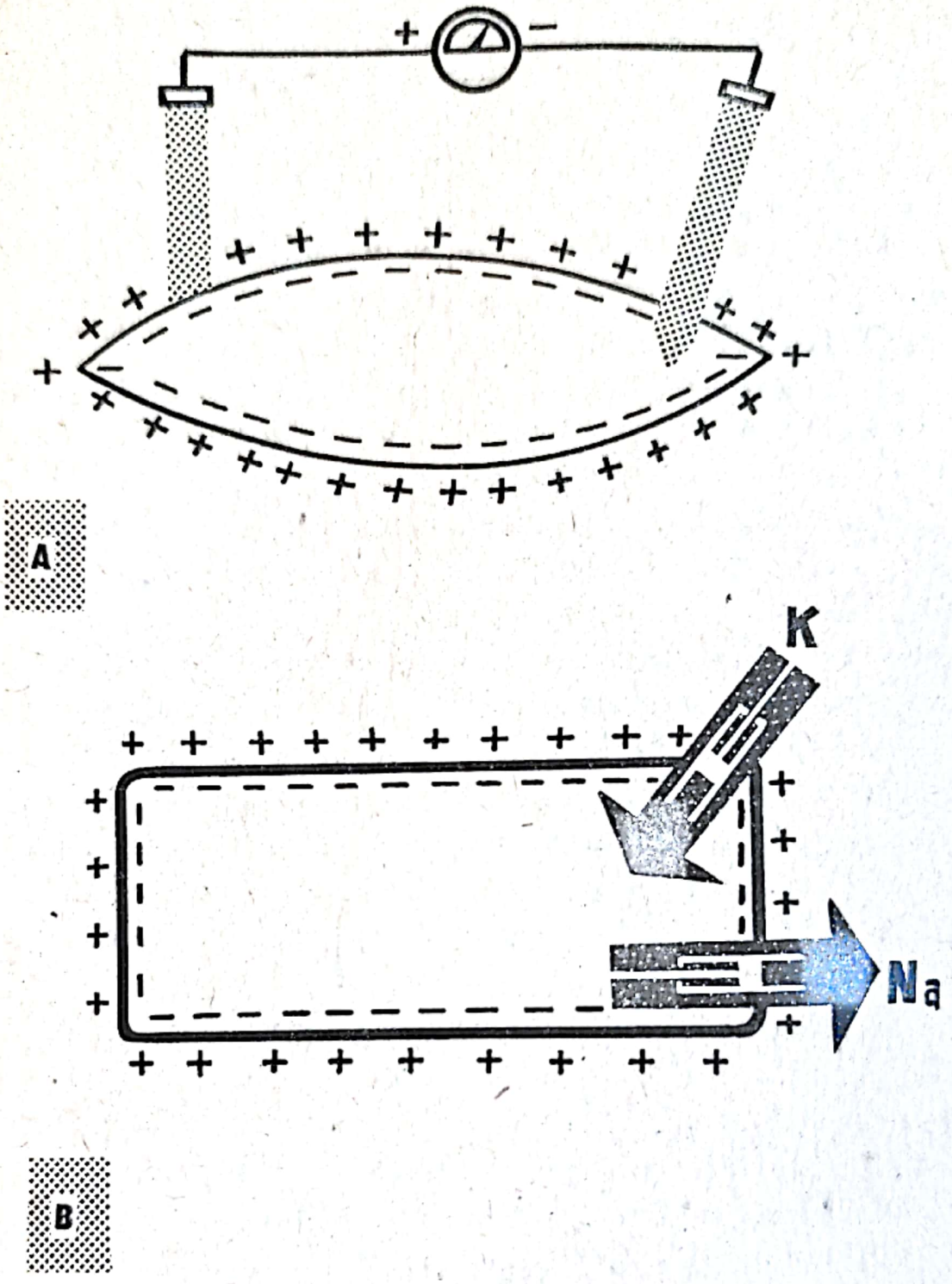


Fig. 3. Potențialul de repaus.

A. Membrana celulară este polarizată pozitiv pe fața exterioară și negativ pe fața interioară De aceea, cînd se străbate cu un microelectrod membrana celulară, se înregistrează o diferență de potențial între interiorul și exteriorul celulei.

B. În timpul repausului, „pompa" de sodiu (Na) scoate sodiul din celulă, iar „pompa" de potasiu (K) acumulează potasiul în celulă.

Membrana celulară se comportă însă ca un fel de barieră; ea lasă să treacă mult mai ușor ionii de potasiu și de clor decît pe cei de sodiu. Din această cauză, ionii de potasiu, avînd

Scanned with OKEN Scanner

sarcini pozitive, părăsesc celula și se depun pe suprafața exterioară a membranei, pozitivînd-o, iar ionii de clor, avînd sarcini negative, pătrund în interiorul celulei, negativînd suprafața internă a membranei. O dată cu ionii de clor tind să intre în celulă și ionii de sodiu, însă doar o mică parte reușesc să facă acest lucru, din cauza permeabilității reduse a membranei celulare pentru ionii de sodiu.

Cînd membrana se polarizează pînă la valoarea de 80—90 mV, sarcinile electrice apărute pe ea împiedică trecerea ulterioară a ionilor și diferența de potențial între o față și cealaltă a membranei celulare nu se mai modifică.

Cercetările moderne au arătat că menținerea asimetriei ionice (adică a unei diferențe de concentrație a ionilor) între interiorul și exteriorul membranei celulare se realizează printr-un mecanism activ, ce necesită consum de energie ; suportul biochimic care furnizează energia necesară îl constituie metabolismul glucidic și protidic. Acest mecanism a fost sugerat plastic ca avînd funcția unei pompe ; se admite că există o *„pompă" de* Na^+ care scoate în mod permanent sodiul din celulă și o *„pompă" de* K^+ care acumulează potasiul în celulă. După cum vom vedea, activitatea acestor „pompe" este deosebit de importantă în timpul excitației celulei.

Sursa potențialului de repaus este, deci, însăși membrana cu „pompele" sale ionice. Datorită acțiunii acestor „pompe", se realizează o diferență de concentrație a ionilor, o asimetrie ionică între interiorul și exteriorul membranei. Asimetria ionică explică, la rîndul ei, asimetria electrică și polarizarea membranei celulare.

Trebuie reținut, însă, că activitatea „pompelor" ionice este consecința metabolismului celular, adică a complexelor reacții biochimice care se produc în interiorul celulei, atît în stare de repaus, cît și în stare de activitate.

Sub acțiunea „pompelor" ionice, membrana celulară se încarcă cu energie, ca un acumulator, fiind preparată astfel pentru a intra în activitate.

Scanned with OKEN Scanner

Potențialul de acțiune

Cu 100 de ani în urmă, Du Bois-Reymond a observat că într-un mușchi în stare de excitație (de activitate), în zona prin care trece unda de excitație suprafața mușchiului devine întotdeauna negativă din punct de vedere electric.

Cercetările moderne au demonstrat că, într-adevăr, în zona undei de excitație, membrana devine negativă în raport cu membrana care învelește restul celulei. Se spune că, în zona respectivă, membrana se *depolarizează*.

Diferența de potențial care se înregistrează între zona excitată și zonele în repaus ale membranei celulare a primit numele de *potențial de acțiune*. Măsurîndu-se acest potențial, s-a constatat că el atinge valoarea de 110—120 mV, fiind deci cu 20—30 mV mai mare decît potențialul de repaus.

După trecerea undei de excitație, membrana celulară revine treptat la polarizarea de repaus, se *repolarizează*.

Studiindu-se schimburile ionice în timpul potențialului de acțiune, s-a văzut că în momentul producerii excitației, permeabilitatea membranei celulare pentru sodiu crește foarte mult în raport cu permeabilitatea ei în starea de repaus. Din această cauză, o cantitate mare de ioni de sodiu intră în celulă, pozitivînd membrana în interior și dînd naștere potențialului de acțiune. Refacerea potențialului de repaus se produce prin ieșirea din celulă a unei cantități egale de ioni de potasiu. În felul acesta se restabilește echilibrul electric, însă nu și cel ionic, căci acum, în interiorul celulei sînt mai mulți ioni de sodiu și mai puțini ioni de potasiu. Pentru ca și compoziția ionică de o parte și de alta a membranei celulare să revină la normal, își intensifică activitatea „pompele" ionice care funcționau și atunci cînd celula era în repaus.

Conducerea excitației

Acțiunea unui stimul suficient de intens asupra unei celule vii declanșează în acea celulă o stare de excitație. Stimulii pot

Scanned with OKEN Scanner

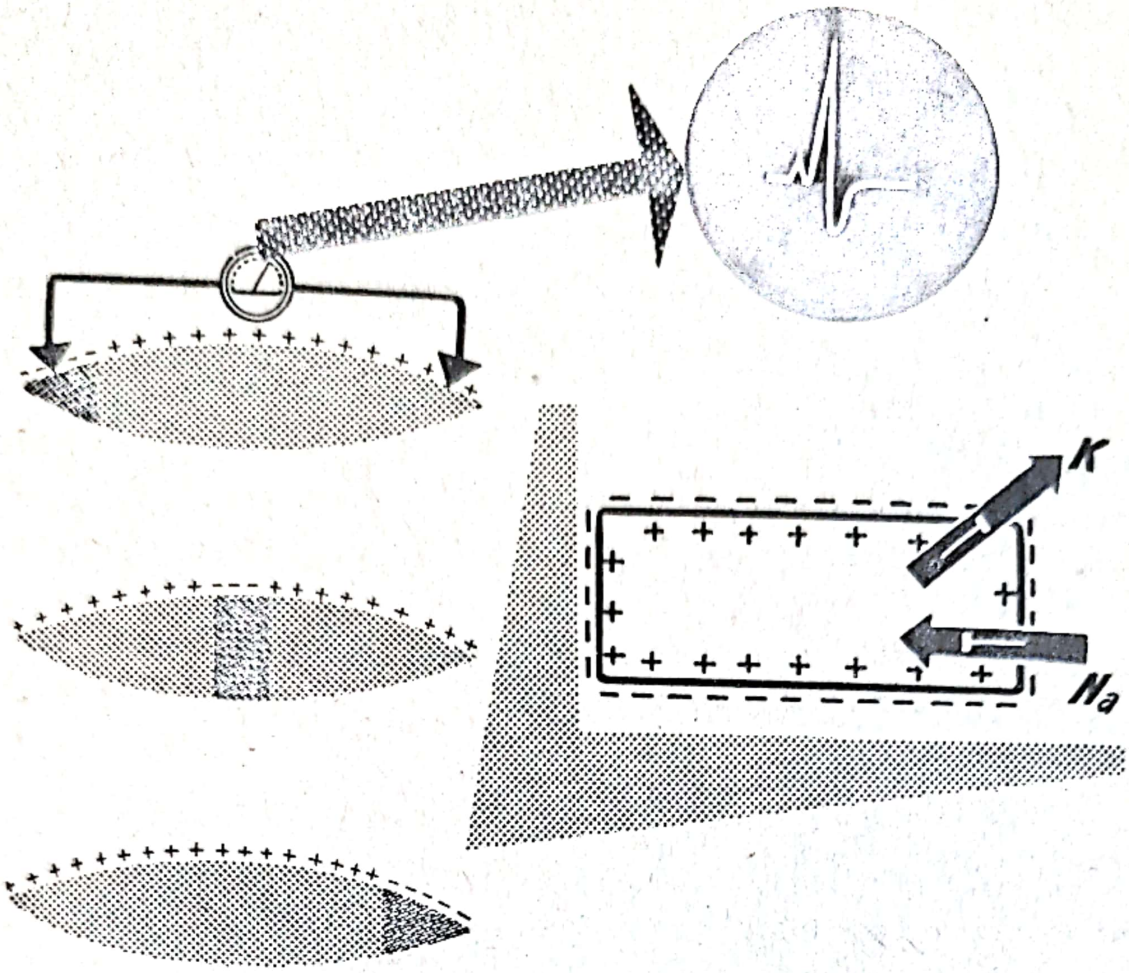


Fig. 4. Potențialul de acțiune

În timpul excitației, membrana celulară se negativează la exterior și apare o diferență de potențial între zona excitată și zonele în repaus. Unda de excitație (de negativare) se propagă din aproape în aproape, iar în urma ei celula se reface biochimic și electric. În timpul potențialului de acțiune, „pompele" introduc sediul în celulă și scot potasiul din celulă. În medalion, potențialul de acțiune al unei celule musculare înregistrat pe un oscilograf catodic.

fi de natură foarte variată : chimici, fizici (mecanici, termici, electrici [1]), biologici (influxul nervos, hormonii).

Starea de excitație reprezintă de fapt intrarea în activitate a celulei vii și ea implică declanșarea unor reacții biochimice extrem de complexe, care se exprimă electric sub forma potențialului de acțiune. Acesta apare inițial numai în locul unde a fost aplicat stimulul. De aici, excitația — care se manifestă electric ca potențial de acțiune — se propagă în lungul membranei celulare, din aproape în aproape, prin intermediul unor curenți locali, descriși pentru prima oară de Hermann în 1879.

[1] În cercetările de fiziologie cei mai utilizați sînt stimulii electrici, care pot fi măsurați cu precizie și modificați după voie. Polul negativ (catodul) al curentului electric excită mai ușor țesutul viu decît polul pozitiv (anodul), pentru că el favorizează negativarea suprafeței celulei.

Scanned with OKEN Scanner

Fenomenul poate fi bine studiat pe fibra nervoasă [1] sau pe cea musculară [2] și cercetările făcute au arătat că între zona în stare de activitate, negativă la suprafață, și zonele pozitive din jur, ia naștere un curent local care se scurge de la negativ către pozitiv atît pe suprafața exterioară, cît și pe cea interioară a membranei celulare. Curenții locali descriși de Hermann acționează asupra zonelor pozitive, în stare de repaus, întocmai ca polul negativ (catodul) al curentului electric, producînd în jurul zonei în stare de activitate o ușoară depolarizare a membranei celulare în repaus și declanșînd întregul proces ionic. Fenomenul se petrece ca și cum polul negativ al unui curent electric, care a declanșat inițial excitația într-o anumită zonă, se deplasează progresiv, din aproape în aproape, excitînd astfel fiecare punct în lungul membranei. Ca să înțelegem mai bine acest fenomen să ne închipuim că nervul este un fitil, iar excitația este reprezentată de o flacără care se propagă de-a lungul fitilului. Însă, spre deosebire de fitil care, după trecerea flăcării, își pierde proprietatea de a arde din nou, țesutul viu, după trecerea undei de excitație, se reface biochimic și bioelectric și poate fi din nou excitat.

Conducerea excitației se face cu o viteză constantă de la zona excitată către restul celulei, viteza fiind, însă, variabilă de la o celulă la alta și depinzînd de natura acestora. În general, la nerv și la mușchi, excitația stă într-un punct aproximativ 1—2 msec (1 msec = milisecundă = a mia parte dintr-o secundă).

Înregistrarea biopotențialelor

Pentru a putea fi studiate și analizate, potențialele celulelor vii trebuie înregistrate.

Înregistrarea presupune un sistem de captare a biopotențialelor, un sistem de amplificare și un sistem de înregistrare propriu-zisă.

---

[1] Fibrele nervoase sînt prelungiri ale celulelor nervoase.

[2] Celula musculară se numește fibră musculară. Un mușchi este constituit din mai multe fibre.

Scanned with OKEN Scanner

Captarea biopotențialelor se realizează cu ajutorul unor *electrozi de culegere* sau *de derivație*. Aceștia au diferite forme (ace, plăcuțe) și sînt confecționați, de obicei, din metal (argint, platină, oțel inoxidabil). Înainte de aplicarea electrodului pe piele, aceasta se degresează, iar electrodul este învelit cu tifon îmbibat într-o soluție de clorură de sodiu (sare de bucătărie) ; aceste măsuri au drept scop să scadă rezistența electrică a pielii și să permită transmiterea mai ușoară a potențialelor de la țesuturile așezate sub piele la electrodul de culegere.

Trebuie reținut că electrodul de culegere nu este încărcat cu nici un fel de electricitate ; el nu are decît rolul de a capta potențialele generate de țesutul viu și de a le transmite, prin intermediul unui fir de legătură, la sistemul de amplificare al aparatului de înregistrare.

Sistemele de amplificare și înregistrare a biopotențialelor au evoluat mult de la primele începuturi ale electrofiziologiei. Du Bois-Reymond a utilizat în cercetările sale un *galvanometru cu oglindă*, cu circuit fix, aparat puțin sensibil, care a permis totuși să se pună în evidență potențialul de repaus. Ulterior, fiziologul rus Vvedenski introduce în tehnicile de electrofiziologie *telefonul* ; cu ajutorul acestuia se puteau „auzi" potențialele generate de țesutul viu în activitate, de exemplu de un mușchi care se contractă. Un aparat mult utilizat de fiziologi la sfîrșitul secolului trecut a fost *electrometrul capilar*, construit de Lippman.

Un progres important în înregistrarea biopotențialelor s-a realizat prin apariția *galvanometrului cu coardă*, construit de W. Einthoven în 1903 și al cărui principiu de funcționare este următorul : un fir (coardă) de platină sau de cuarț argintat, avînd o grosime extrem de mică (2—3 μ), este întins între polii pozitiv și negativ ai unui electromagnet puternic, perpendicular pe linia care ar uni cei doi poli. De cele două capete ale firului sînt legate cablurile electrice care vin de la electrozii de culegere. În momentul trecerii curentului electric (curentul de acțiune) prin fir, acesta se deplasează lateral, perpendicu-

Scanned with OKEN Scanner

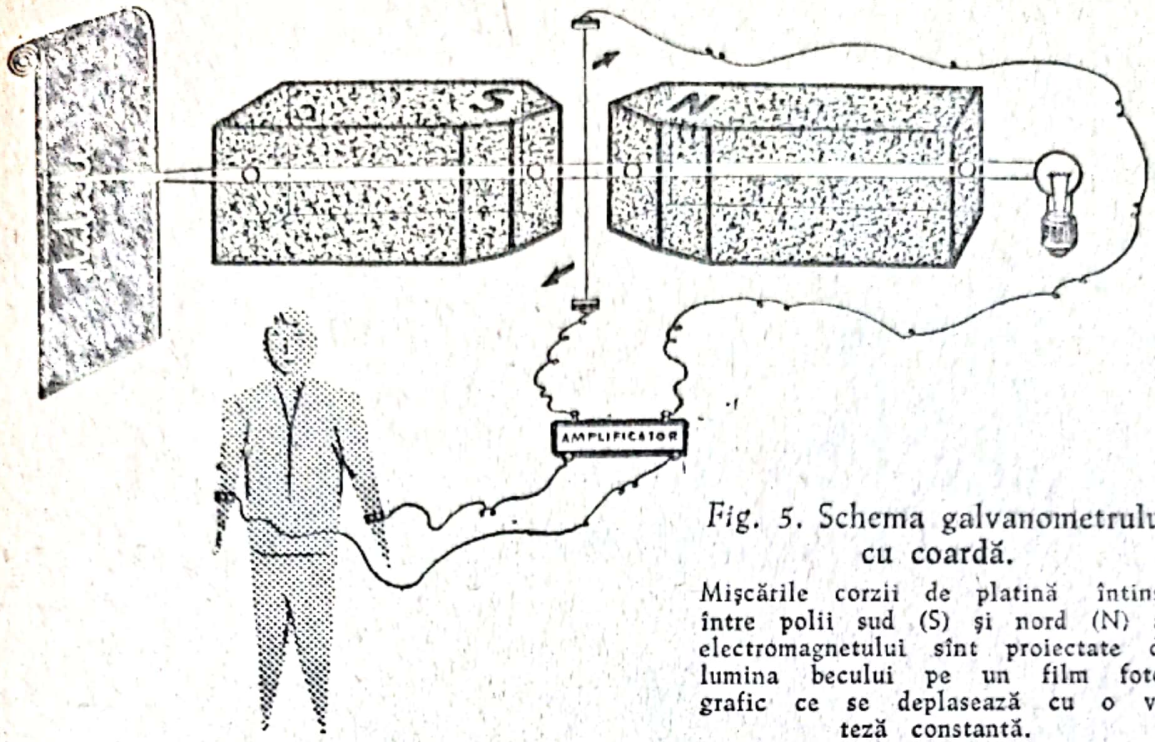


Fig. 5. Schema galvanometrului cu coardă.

Mișcările corzii de platină întinse între polii sud (S) și nord (N) ai electromagnetului sînt proiectate de lumina becului pe un film fotografic ce se deplasează cu o viteză constantă.

lar pe direcția cîmpului electromagnetic creat de cei doi poli ai electromagnetului. Firul se deplasează într-un sens sau în altul, în raport cu sensul curentului care trece prin el și în conformitate cu legile electromagnetismului. Deplasările corzii sînt înscrise fotografic, sub forma unei curbe, cu ajutorul unui sistem optic care proiectează imaginea corzii pe un film fotografic ce se mișcă cu o viteză constantă. Galvanometrul poate înregistra variații foarte mici de potențial, de ordinul milivoltilor, așa cum sînt cele produse de inimă sau de mușchii care se contractă.

Dezvoltarea tehnicii de amplificare prin lămpi de radio a dus la apariția unor dispozitive de înscriere directă pe hîrtie (cu cerneală sau cu negru de fum), cum sînt : galvanometrul cu oglindă, electromagnetul cu lamă metalică și peniță etc. Aceste dispozitive avînd o sensibilitate mai redusă, totuși suficientă, sînt mult mai rezistente decît galvanometrul cu coardă. Datorită faptului că sînt relativ ieftine și simplu de manipulat, ele își găsesc o aplicare tot mai largă în examinările clinice care au drept scop înregistrarea biopotențialelor inimii, mușchilor sau creierului.

Scanned with OKEN Scanner

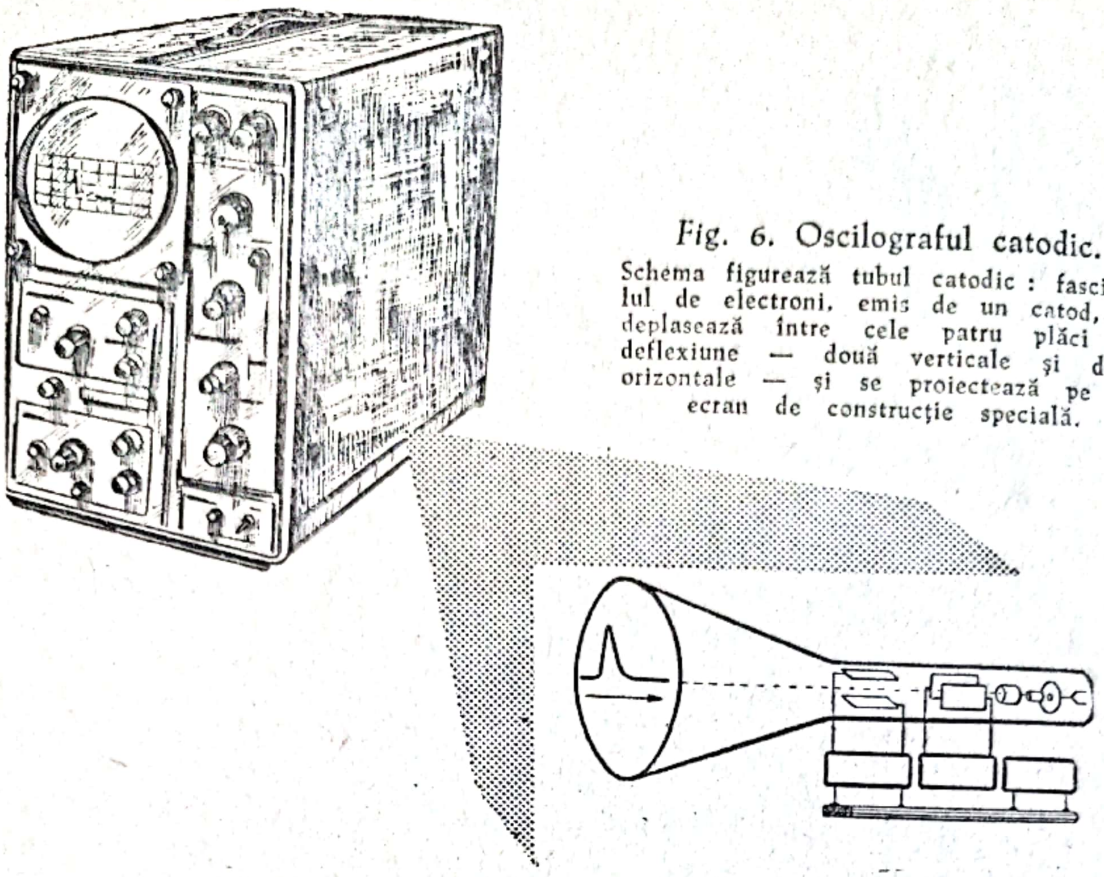


Fig. 6. Oscilograful catodic.
Schema figurează tubul catodic : fasciculul de electroni, emis de un catod, se deplasează între cele patru plăci de deflexiune — două verticale şi două orizontale — şi se proiectează pe un ecran de construcţie specială.

Aparatul de înregistrare cu cea mai mare sensibilitate, utilizat în cercetările de electrofiziologie, este *oscilograful catodic*. Principiul după care este construit aparatul este următorul : un fascicul de electroni, emis de un catod, se deplasează într-un tub catodic (similar cu cel de la televizoare) în care s-a făcut vid şi se proiectează pe un ecran de construcţie specială. Pe laturile tubului sînt aşezate patru plăci metalice — plăcile de deflexiune — două verticale şi două orizontale ; la aceste plăci sînt conectate cablurile care vin de la organul studiat. Fasciculul electronic trece printre aceste plăci. În poziţia de repaus, fasciculul nu suferă nici o deformare. Atunci cînd la plăcile de deflexiune ajunge curentul produs de ţesutul viu în activitate, se creează un cîmp electromagnetic care deviază fasciculul de electroni ; această deviere, care este în raport cu sensul curentului ce circulă prin plăcile de deflexiune, poate fi înregistrată pe un film fotografic. Datorită construcţiei sale, oscilograful catodic redă cu maximă fidelitate variaţiile potenţialelor biologice.

Scanned with OKEN Scanner

Volum-conductorul

De obicei, electrozii de derivație (de culegere) nu sînt puși direct pe țesutul cercetat, ci la o oarecare distanță ; de exemplu, în cazul electrocardiogramei — pe pielea membrelor sau a toracelui, iar în cazul electroencefalogramei — pe pielea capului. Totuși, fenomenul bioelectric poate fi înregistrat.

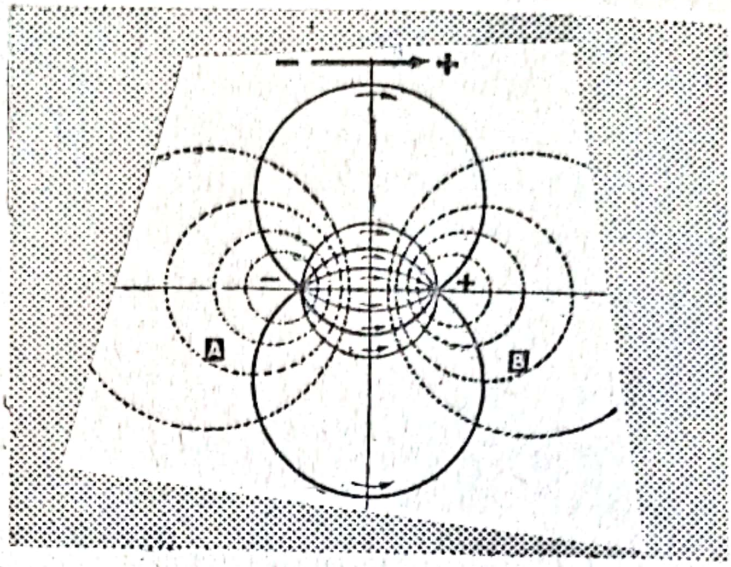
Care este explicația ?

Să revenim la țesutul viu. Să ne închipuim că este vorba de un mușchi. În momentul cînd acesta este excitat, apare la suprafața lui o diferență de potențial ce poate fi exprimată prin noțiunea de *dipol*, termen ce definește un element electric avînd un pol pozitiv și unul negativ. În jurul dipolului se creează un cîmp de potențial ; acesta generează linii de curent ce se scurg în toate direcțiile dacă dipolul este plasat într-un mediu bun conducător de electricitate, într-un *volum-conductor*. Țesutul viu are calitățile unui volum-conductor ; de aceea, un dipol generat într-un țesut situat în profunzime influențează întreg mediul conducător dimprejur și are răsunet pînă la piele.

Fenomenul poate fi înțeles mai clar dacă ne imaginăm dipolul ca avînd forma unui pișcot de șampanie, cele două extremități ale pișcotului reprezentînd cei doi poli, pozitiv și negativ, ai dipolului. Dacă aruncăm acest pișcot în centrul unui bazin cu apă, în jurul pișcotului se vor produce o serie de unde care se propagă, din aproape în aproape, pînă la marginea bazinului. Deci, aceste unde pot fi înregistrate și la marginea bazinului, avînd bineînțeles, o intensitate mai mică decît în centrul lui. Volum-conductorul creat de țesutul viu poate fi comparat cu acest bazin, liniile de curent electric din jurul dipolului — cu undele de apă din jurul pișcotului, iar pielea — cu marginile bazinului.

Așadar, pentru înregistrarea potențialului de acțiune al unui țesut nu este absolută nevoie să se pună electrozii direct pe țesutul activ, direct pe capetele dipolului, ci este suficient ca ei să fie puși la distanță, chiar apreciabilă, de țesutul în

Scanned with OKEN Scanner



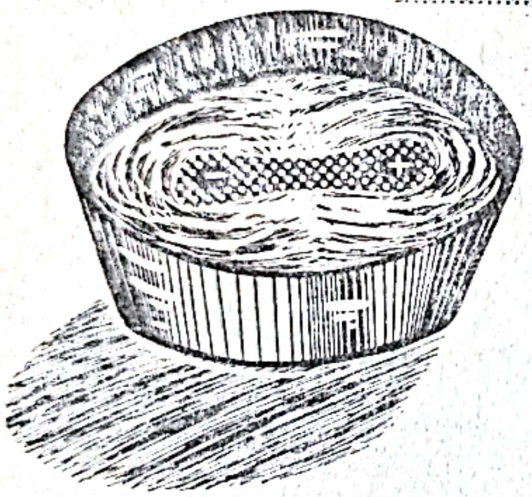


Fig. 7. Volum-conductorul.

O piatră de forma unui pișcot, aruncată într-un bazin cu apă, determină apariția unor unde ce se propagă pînă la marginea bazinului. În corpul omenesc se întîmplă un fenomen similar: în jurul unei diferențe de potențial apărute în interiorul corpului (dipol) iau naștere linii de curent ce se transmit la distanță, ajungînd pînă la piele. De aceea, cu ajutorul unor electrozi de culegere (A și B) se pot înregistra la distanță aceste diferențe de potențial. Săgeata din partea de sus a figurii exprimă, sub forma unui vector, mărimea diferenței de potențial și sensul scurgerii curentului electric la nivelul producerii acestuia în țesutul viu.

activitate. Bineînțeles că diferențele de potențial înregistrate în aceste condiții vor fi cu atît mai mici cu cît electrozii de culegere vor fi mai depărtați de capetele dipolului.

Linia care unește cei doi electrozi de culegere a fost denumită *axă de derivație*.

Dipolul are un capăt negativ și unul pozitiv. El poate fi figurat plastic sub forma unui *vector*, adică a unei săgeți a cărei lungime exprimă mărimea diferenței de potențial dintre capetele (polii) dipolului și a cărei orientare exprimă scurgerea curentului electric de la polul negativ la cel pozitiv.

Scanned with OKEN Scanner

ELECTROCARDIOGRAMA

Fiecare bătaie a inimii este însoțită de manifestări electrice, care pot fi înregistrate fie prin electrozi plasați direct pe inimă (în experiențele pe animale sau în cursul intervențiilor chirurgicale pe om), fie prin electrozi plasați în anumite puncte de pe suprafața corpului. Înregistrarea acestei activități electrice a inimii a primit numele de electrocardiogramă (ECG) și ea are o deosebită importanță pentru stabilirea diagnosticului în afecțiunile cardiace.

Fizicianul din Leyda

Bazele electrocardiografiei [1] au fost puse la începutul secolului al XX-lea cînd fizicianul olandez Willem Einthoven (1860—1927), din Leyda, inventează în 1903 galvanometrul

[1] Primele înregistrări experimentale ale fenomenelor electrice ce însoțesc contracțiile cardiace au fost comunicate de Burton Sanderson și Page, în 1878. Cîțiva ani mai tîrziu, în 1881-1882, fiziologul englez W. H. Gaskell, utilizînd ca aparat de măsură galvanometrul, studiază unele manifestări electrice ale inimii de broască și pune în evidență o serie de variații fiziologice ale acestora. Puțin mai tîrziu, în 1885, fiziologii germani J. Kölliker și H. Müller realizează o experiență extrem de interesantă — asemănătoare cu cea a lui Matteuci cunoscută sub numele de „laba galvanoscopică" — prin care au demonstrat că fiecare contracție cardiacă este însoțită de apariția unor diferențe de potențial capabile să excite un nerv; Kölliker și Müller au numit aceste variații de potențial ale unei inimi în activitate „deflexiune negativă".

În sfîrșit, prima înregistrare a unei electrocardiograme la om s-a făcut de către Augustus D. Wàller în 1889.

Scanned with OKEN Scanner

cu coardă, aparat sensibil ce dă posibilitatea să se înregistreze diferențe de potențial mici și de durată scurtă. În anii 1907—1908, Einthoven și colaboratorii săi, printr-o serie de lucrări memorabile, pun bazele electrocardiografiei clinice [1] și enunță principiile teoretice care permit interpretarea traseelor ECG înregistrate. Einthoven denumește traseul înregistrat „electrocardiogramă" sau „telegrama inimii". Ulterior, metoda s-a răspîndit rapid în toate țările, fapt la care și-au adus contribuția A. F. Samoilov în Rusia, Thomas Lewis și L. E. Bayliss în Anglia, K. F. Wenckenbach, C. J. Rothberger și H. Winterberg în Austria etc. O etapă importantă în dezvoltarea electrocardiografiei a fost deschisă de lucrările americanului F. N. Wilson, efectuate în deceniul al patrulea al secolului nostru.

Apariția lămpilor electronice simplifică mult aparatura de amplificare, însă principiul galvanometrului cu coardă se aplică încă și astăzi la majoritatea electrocardiografelor utilizate în scopuri clinice.

La noi în țară, importanța electrocardiografiei a fost întrevăzută încă de la începuturile ei de spiritul clarvăzător al lui D. Danielopolu care, imediat după 1920, a introdus această metodă în cercetările clinice și experimentale. Mai recent, problemele de electrocardiografie au constituit obiectul a numeroase cercetări făcute în diverse clinici medicale din Iași (acad. I. Enescu), Cluj (acad. A. Moga), București (prof. Bazil Teodorescu) etc. precum și în Institutul de fiziologie „D. Danielopolu" al Academiei R.P.R.

De curînd, industria noastră a început să producă electrocardiografe în serie, ceea ce a permis ca aproape toate serviciile de specialitate să poată beneficia în activitatea lor de ajutorul acestei metode de investigație, atît de prețioasă.

---

[1] Pentru contribuția sa remarcabilă la dezvoltarea electrocardiografiei, Einthoven a fost distins cu Premiul Nobel.

Scanned with OKEN Scanner

Inima – organ autoexcitabil

Dacă scoatem inima din corpul unei broaște și o plasăm într-un vas cu un lichid avînd o anumită compoziție (conținînd diverse săruri și substanțe nutritive), constatăm că, în aceste condiții, inima mai bate încă multe ore, fără intervenția vreunui stimul dinafară. Și inima de mamifer, pusă în condiții speciale, continuă să bată un timp îndelungat după ce este scoasă din organism.

Această experiență dovedește că inima este un organ care se excită singur (autoexcitabil), care-și creează chiar în interiorul lui stimulul pentru fiecare contracție.

Electrocardiograma reprezintă înregistrarea curenților electrici care însoțesc apariția, propagarea și retragerea undei de excitație în cuprinsul miocardului (mușchiul inimii). Pentru a înțelege cum se produce acest fenomen este necesar să cunoaștem cîteva noțiuni elementare despre modul cum funcționează inima.

Inima este un organ cavitar care se compune din patru compartimente : două *atrii* (drept și stîng) și două *ventricule* (de asemenea drept și stîng). Fiecare atriu comunică — printr-un orificiu atrioventricular închis de o valvulă — cu ventriculul corespunzător, însă compartimentele drepte nu comunică cu cele stîngi, fiind despărțite de septul (peretele) interatrial și cel interventricular. Pereții atriilor și ventriculelor sînt formați din țesut muscular *(miocard)*, care este mai subțire la nivelul atriilor și mai gros la nivelul ventriculelor ; masa cea mai importantă a miocardului o constituie peretele ventriculului stîng.

În grosimea miocardului se găsesc resturi de țesut miocardic din viața embrionară. Datorită structurii sale, acest miocard embrionar este dotat cu o proprietate extrem de interesantă și foarte importantă pentru funcționarea inimii : el se excită singur (autoexcitabil) și conduce cu viteză mare această excitație ; de aceea a și fost denumit sistem *excitoconductor*. Țesutul miocardic embrionar se găsește concentrat în două

Scanned with OKEN Scanner

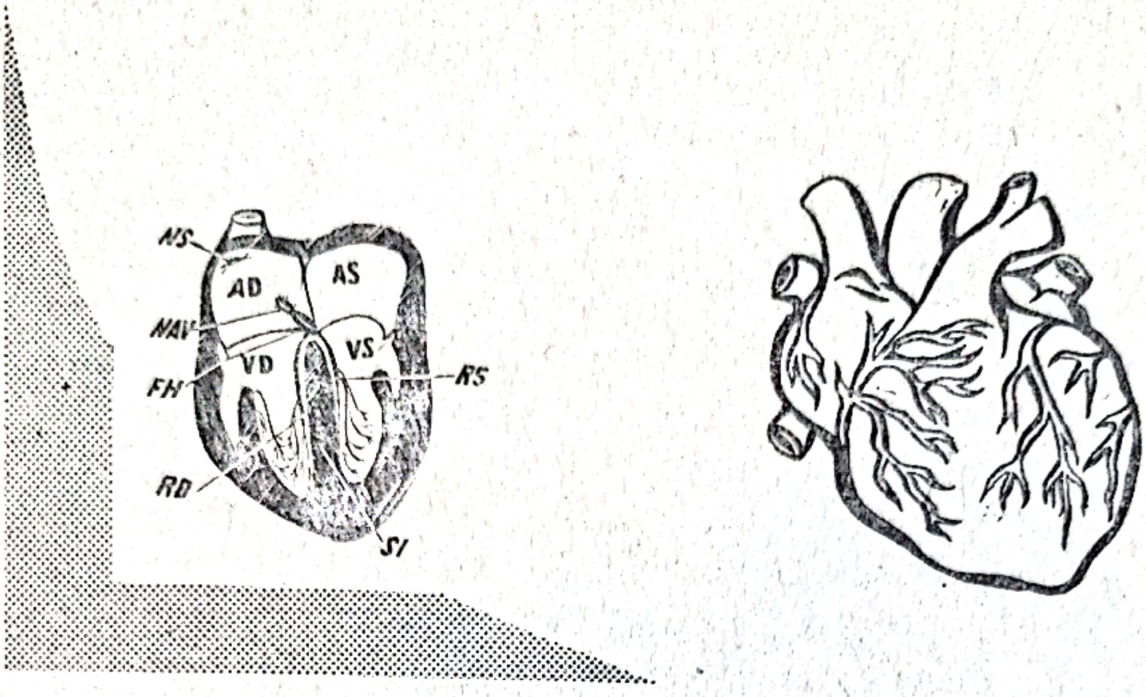


Fig. 8. Reprezentarea schematică a structurii inimii : AD = atriul drept ; AS = atriul stîng ; VD = ventriculul drept ; VS = ventriculul stîng. NS = nodul sinuzal ; NAV = nodul atrioventricular ; FH = fasciculul lui His ; RD și RS = ramurile dreaptă și stîngă ale fasciculului His, care se continuă cu arborizațiile ce intră în contact cu miocardul ; SI = septul interventricular. În dreapta, aspectul exterior al inimii. Se văd ramurile arterelor coronare care aduc sînge la inimă.

noduri — *nodul sinuzal* sau *sinoatrial* (situat la baza atriului drept) și nodul *atrioventricular* (situat între cele două orificii atrioventriculare) — și într-un fascicul (numit *fasciculul lui His*) care pleacă de la nodul atrioventricular, merge prin septul interventricular și — după un scurt traiect — se divide într-o ramură dreaptă și una stîngă. Cele două ramuri, cîte una pentru fiecare ventricul, se termină printr-un sistem de arborizație *(rețeaua Purkinje)* care intră într-un contact intim cu fibrele miocardului ventricular, cel care realizează de fapt contracția ventriculelor și expulzarea sîngelui din inimă.

În mod normal, stimulul pentru fiecare contracție a inimii apare mai întîi la nivelul nodului sinoatrial ; de aici, unda de excitație se propagă prin întreaga masă a musculaturii atriale ajungînd la nodul atrioventricular și apoi, pe calea fasciculului lui His, a ramurilor sale și a arborizațiilor terminale cuprinde întreg miocardul ventricular.

După trecerea undei de excitație și realizarea contracției, miocardul se reface biochimic spre a fi pregătit pentru o nouă

Scanned with OKEN Scanner

contracție. Fiecare ciclu se repetă la intervale regulate și durează, în medie, la un om cu o frecvență normală a pulsului, 8 zecimi de secundă.

Inima – sursă de electricitate

Contracțiile ritmice ale miocardului se efectuează pe baza variațiilor unui substrat biochimic. Modificările ritmice ale acestuia se exprimă prin apariția contracțiilor ritmice ale miocardului, precum și prin apariția ritmică în miocard a unor sarcini electrice. Succesiunea în timp a diverselor fenomene este următoarea : mai întîi se produc modificările biochimice, apoi cele electrice și în cele din urmă contracția mușchiului inimii. Ca și la nerv sau la mușchiul striat, excitarea miocardului se manifestă electric ca o negativare a punctului excitat în comparație cu starea anterioară a aceluiași punct și în comparație cu starea punctelor încă neexcitate sau deja excitate și în curs de refacere metabolică și bioelectrică.

În fiecare punct al fibrei miocardice, faza de negativare extremă are o durată foarte scurtă. Din această cauză, precum și datorită faptului că miocardul este alcătuit dintr-un număr mare de fibre musculare avînd o orientare variată, de la începutul invaziei excitației și pînă la retragerea acesteia din ultimul punct miocardic excitat vor fi prezente tot timpul în mușchiul inimii cupluri de sarcini electrice, atît negative, cît și pozitive. Diferențele de potențial care se formează astfel se transmit — datorită bunei conductibilități electrice a țesuturilor vii — pînă la suprafața pielii, de unde pot fi captate cu ajutorul unor electrozi de derivație și transmise unui aparat de amplificare și înregistrare.

Mărimea potențialelor care apar în timpul activității cardiace este de aproximativ 20—30 mV, așa cum o dovedesc electrocardiogramele înregistrate cu electrozi aplicați direct pe suprafața inimii. Însă, pînă la suprafața corpului, din cauza

Scanned with OKEN Scanner

rezistenței pe care o opun țesuturile din organism și mai ales pielea, aceste potențiale se micșorează de 15—30 de ori, ajungînd la valoarea de 1—2 mV.

Electrocardiograma normală

Datorită faptului că inima este un organ cavitar care ocupă un anumit volum în spațiu, dipolii succesivi care apar într-o inimă normală, în cursul activității sale, au o anumită orientare în spațiu.

În timp ce unda de excitație parcurge întregul miocard iau naștere în acesta multiple diferențe de potențial între zonele miocardice excitate și cele înconjurătoare. Ceea ce înregistrăm noi pe electrocardiogramă însă, este rezultanta tuturor diferențelor de potențial existente la un moment dat în inimă. Pentru a putea aprecia orientarea în spațiu a acestor diferențe de potențial și a putea analiza modificările survenite sub acțiunea factorilor fiziologici sau patologici, este necesar să înregistrăm electrocardiograma pe cît mai multe axe de derivație, situate în planuri diferite.

Einthoven a înregistrat electrocardiograma într-un plan frontal, adică într-un plan paralel cu fața. În acest plan, el a fixat trei puncte egal distanțate între ele și egal distanțate, din punct de vedere practic, de centrul inimii. Aceste trei puncte sînt situate astfel : rădăcina brațului drept, rădăcina brațului stîng și rădăcina coapsei stîngi [1]. Unind cele trei puncte, două cîte două, se obțin trei axe de derivație : derivația I (braț drept-braț stîng), derivația a II-a (braț drept-coapsă stîngă) și derivația a III-a (braț stîng-coapsă stîngă). Acestea sînt așa-numitele *derivații standard*, iar triunghiul pe

[1] Deoarece în lungul membrelor potențialele nu suferă modificări apreciabile, electrozii de derivație nu se pun, din motive de comoditate, la rădăcina membrelor, ci la periferia acestora.

Scanned with OKEN Scanner

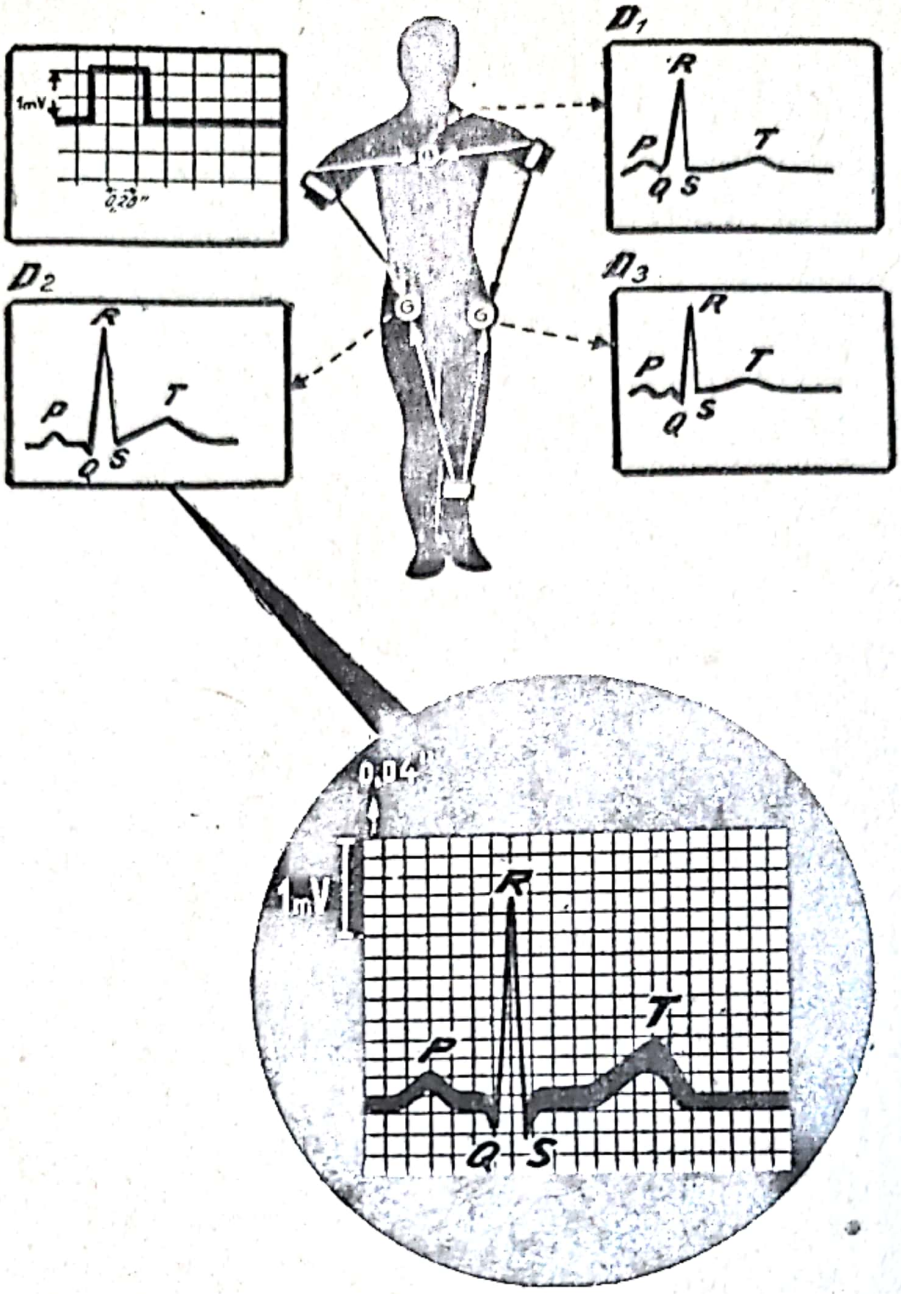


Fig. 9. Înregistrarea electrocardiogramei în cele trei derivații (D_1, 2, 3) standard. G = galvanometru. În medalion, aspectul unei electrocardiograme normale.

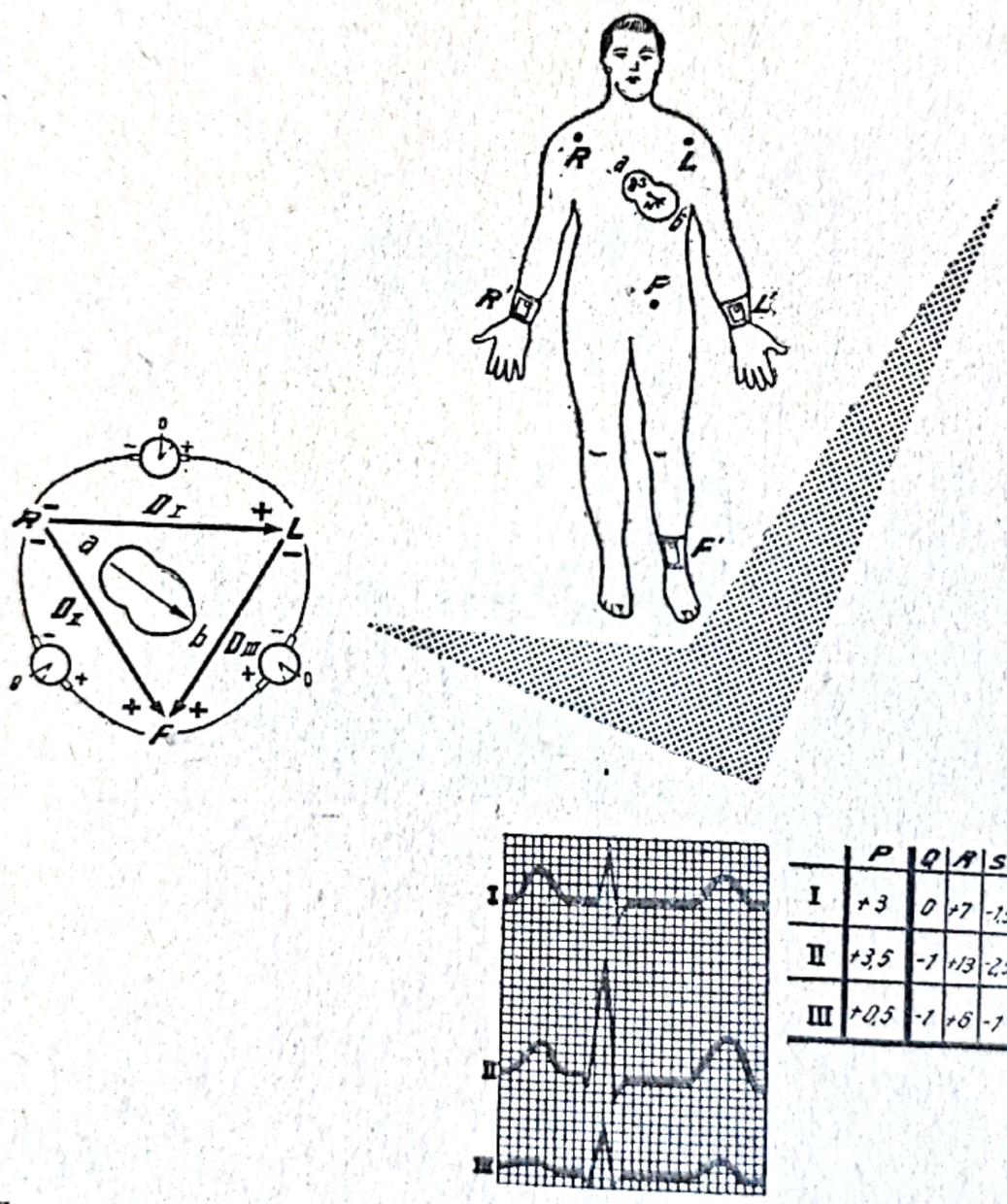
care-l formează este cunoscut sub numele de *triunghiul lui Einthoven.*

Prin modul cum sînt așezați electrozii de culegere în fiecare derivație și datorită sistemului de construcție a electrocardiografelor adoptat în toate țările, se consideră, în mod convențional, că deflexiunile (undele) de pe ECG îndreptate în sus de la linia de repaus a corzii electrocardiografului *(linie*

Scanned with OKEN Scanner

izoelectrică) sînt pozitive, iar cele îndreptate în jos — negative.

În afara acestor derivații standard, se mai utilizează în mod curent în electrocardiografia clinică derivațiile *precordiale*, care au un electrod de derivație plasat pe torace, în anumite puncte ce corespund diverselor zone din ventriculele drept și stîng.



	P	Q	R	S	T
I	+3	0	+7	-1,5	+3
II	+3,5	-1	+13	-2,5	+5
III	+0,5	-1	+6	-1	+2

Fig. 10. Prin înregistrarea simultană a electrocardiogramei în mai multe derivații, se poate stabili sensul real și valoarea biopotențialelor de la nivelul inimii. R, L, F arată rădăcina membrelor respective, iar R', L', F' — locul unde se plasează electrozii de derivație.

Scanned with OKEN Scanner

Electrocardiograma normală se compune din trei deflexiuni (unde) pozitive, notate cu literele P, R și T, și din două deflexiuni negative, undele Q și S, care sînt inconstante [1].

Fiecare undă a ECG se caracterizează printr-o anumită formă, durată și amplitudine. De asemenea, între diversele unde există o anumită succesiune în timp. Modificarea aspectului diverselor unde ale ECG, precum și a intervalelor dintre ele denotă, aproape întotdeauna, o afecțiune cardiacă [2].

Inima „șchioapătă"

Una din plîngerile frecvente ale bolnavilor de inimă o constituie palpitațiile. De cele mai multe ori, acestea se datoresc unor tulburări ale ritmului normal al inimii, și anume, accelerării frecvenței cardiace sau apariției unor bătăi neregulate. O mare parte a acestor tulburări de ritm, care mai poartă numele de *aritmii* și care se datoresc alterării uneia dintre proprietățile principale ale inimii — *excitabilitatea* — pot fi diagnosticate pe baza examenului clinic. De exemplu, este suficient să palpăm pulsul bolnavului sau să punem urechea pe toracele său, în dreptul inimii, pentru a ne da seama dacă frecvența

---

[1] *Unda P* reflectă invazia procesului de excitație în cele două atrii. *Intervalul P-Q* reprezintă timpul în care excitația, după ce parcurge atriile, ajunge la miocardul ventricular, prin nodul atrioventricular și fasciculul lui His. *Unda Q*, care se înscrie negativă pe toate derivațiile, este produsă de excitarea septului interventricular. *Unda R*, cea mai importantă deflexiune a ECG, reflectă invadarea masei principale a miocardului ventricular de către excitație, iar *unda S* se înregistrează la sfîrșitul acestui proces. Undele Q, R, S alcătuiesc împreună *complexul QRS*, denumit și *complexul ventricular*. *Segmentul S-T* și *unda T* reflectă retragerea undei de excitație din miocardul ventricular și apariția fenomenelor de refacere metabolică care pregătesc inima pentru un nou ciclu de activitate.

[2] De exemplu, o undă P mai largă decît în mod normal arată că, din anumite cauze, conducerea excitației prin atrii se face cu dificultate ; o alungire a intervalului P-Q, adică a timpului scurs de la începutul undei P și pînă la începutul undei Q și care în condiții normale nu depășește 20 de sutimi de secundă, arată o dificultate în transmiterea excitației de la atrii la ventricule ; un complex QRS deformat și larg, avînd o durată mai mare de 8 sutimi de secundă, trădează o tulburare de conducere a excitației prin ventricule ; deformarea undei T denotă că mușchiul inimii nu primește suficiente substanțe nutritive etc.

Scanned with OKEN Scanner

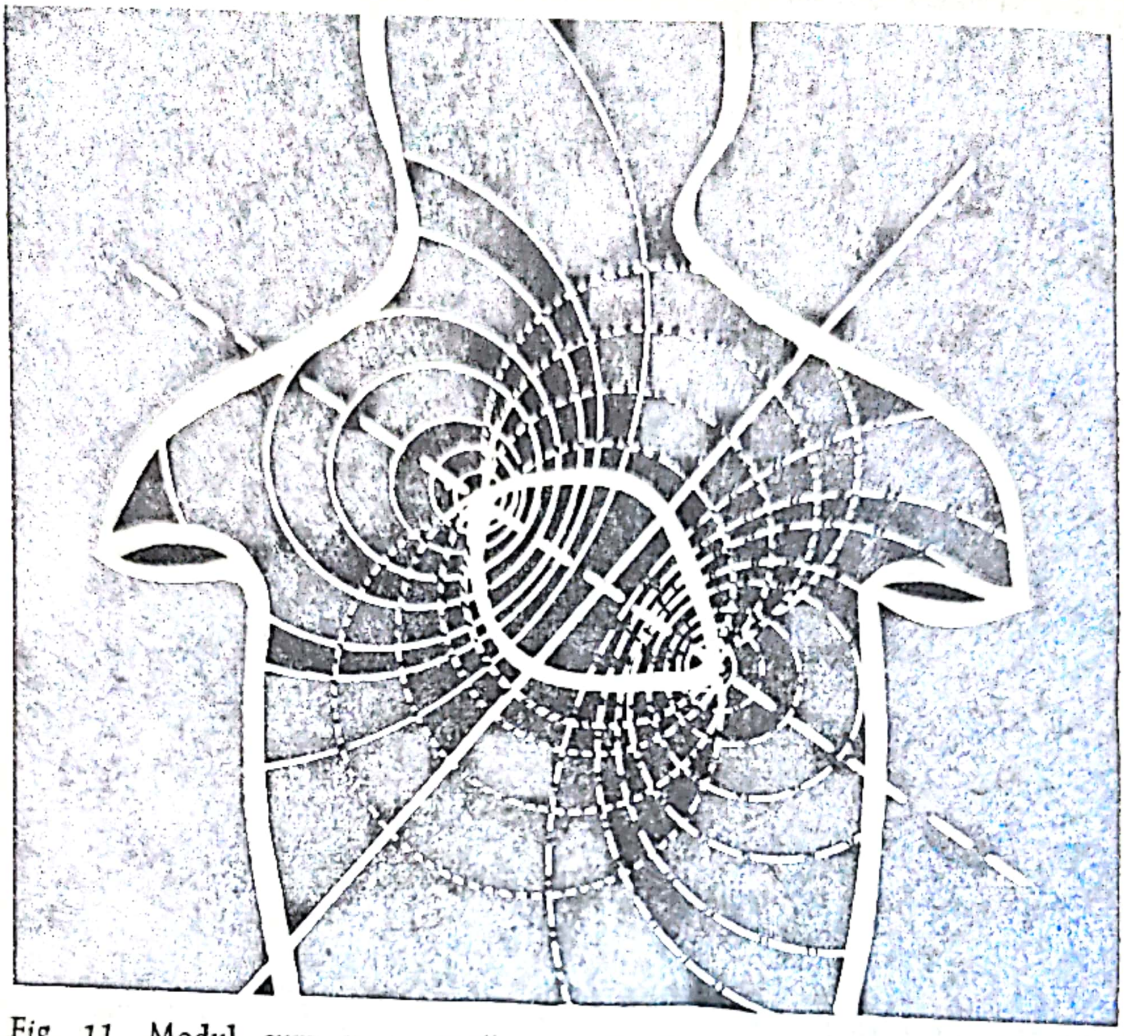


Fig. 11. Modul cum se propagă curenții electrici de la nivelul inimii la diferite regiuni ale pielii.

cardiacă este scăzută *(bradicardie)* sau crescută *(tahicardie)*. De asemenea, prin aceleași procedee ne putem da seama dacă ritmul inimii este regulat sau neregulat.

Lucrurile nu stau însă la fel de simplu cînd trebuie să precizăm mecanismul prin care se produce aritmia respectivă, deoarece prin mijloacele clinice, noi nu apreciem, de obicei, decît contracțiile ventriculelor.

Să ne închipuim, de pildă, că, examinîndu-se un bolnav, i se găsește o frecvență cardiacă de 40 de bătăi pe minut față de 60—80 bătăi cît este normal. Această rărire a pulsului poate fi datorită fie unei scăderi a excitabilității nodului sinuzal (în care caz el se autoexcită mai greu și deci stimulii pentru contracția inimii vor fi mai rari), fie unei alterări, unei

Scanned with OKEN Scanner

blocări complete a conducerii excitației de la atrii la ventricule, în care caz, deși atriile se contractă cu o frecvență normală, ventriculele se contractă mult mai rar, sub influența unor stimuli care iau naștere în însuși miocardul embrionar ventricular.

Să luăm acum cazul unui alt bolnav, care se prezintă la medic pentru că are pulsul foarte accelerat (120—140 de bătăi pe minut). Și aici cauzele pot fi variate. Astfel, tahicardia poate fi produsă printr-o creștere a excitabilității nodului sinuzal ; acesta se va excita mai ușor și mai repede și va declanșa contracții mai frecvente ale atriilor și ventriculelor. Poate exista, însă, și un alt mecanism : într-o anumită afecțiune cardiacă, numită *flutter atrial*, atriile se contractă cu o frecvență foarte mare, ce poate ajunge pînă la 600 de contracții pe minut ; ventriculele nu se pot contracta în același ritm și de aceea ele răspund numai cu o contracție la fiecare trei sau patru contracții ale atriilor, avînd o frecvență de contracții de aproximativ 150 pe minut.

În ambele exemple pe care le-am dat, diagnosticul corect al afecțiunii cardiace și aplicarea tratamentului indicat nu se pot face decît pe baza examenului electrocardiografic.

Se întîmplă uneori, mai ales atunci cînd ne culcăm imediat după ce am mîncat și avem stomacul plin, să simțim cîte o bătaie neregulată a inimii. Aceste bătăi, care survin înainte de momentul cînd trebuia să survină bătaia normală și o înlocuiesc pe aceasta, se numesc *extrasistole* (sistolă = contracție). Extrasistolele se datoresc creșterii excitabilității, din diferite cauze, într-o anumită zonă a țesutului miocardic embrionar din atrii sau ventricule, care devine în felul acesta „declanșatorul" activității cardiace, înlocuind nodul sinuzal. Cînd extrasistolele apar rar, ele nu produc nici o tulburare și, de cele mai multe ori, trec neobservate. Cînd se repetă însă foarte frecvent, ele devin supărătoare pentru bolnav și pot produce complicații cardiace grave. Diagnosticul corect al focarului de

Scanned with OKEN Scanner

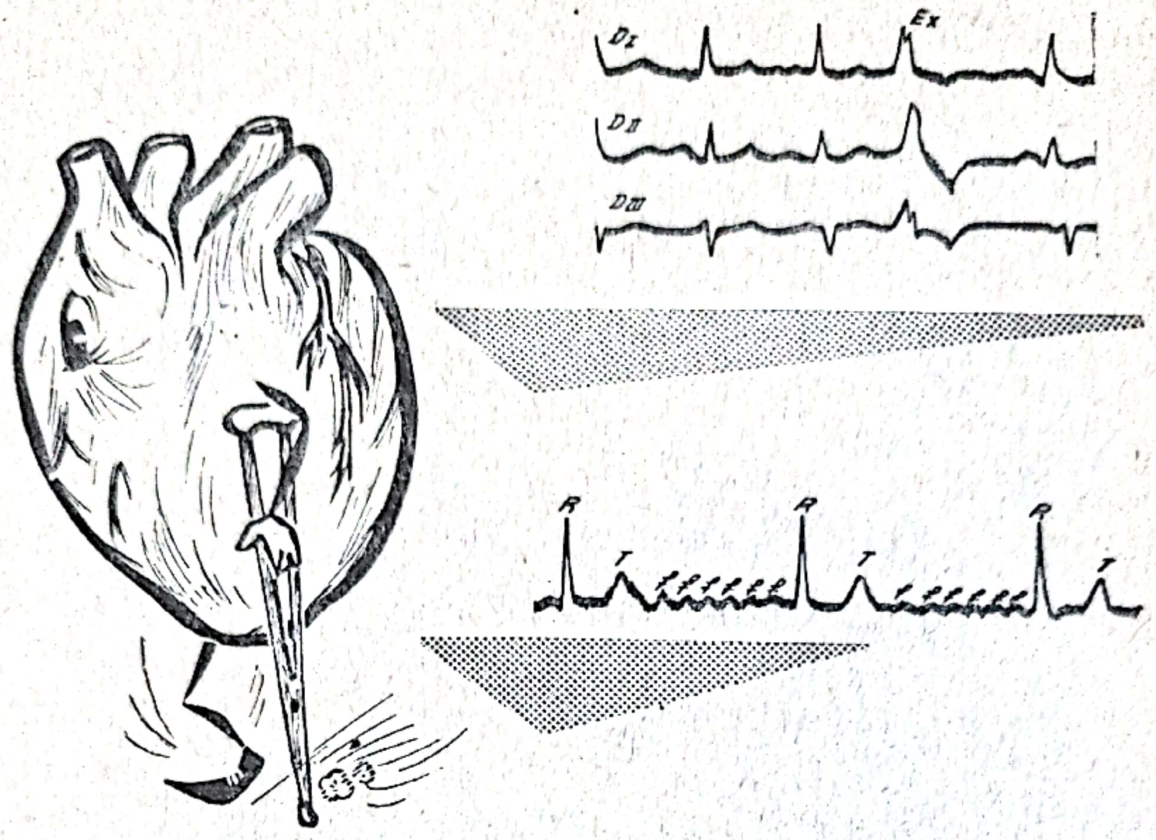


Fig. 12. Inima „șchioapătă".
Sus : extrasistolă declanșată de la nivelul unui ventricul. Jos : aspectul electrocardiogramei în cursul fibrilației atriale. În locul undei P apar o serie de unde mici, notate cu litera f.

origine al extrasistolei, al unicității sau multiplicității focarelor de extrasistole (același bolnav poate prezenta extrasistole avînd originea în diverse puncte ale miocardului atrial sau ventricular) nu se poate face decît pe baza electrocardiogramei.

Tot electrocardiograma ne permite să putem diferenția extrasistolele frecvente de o altă afecțiune cardiacă, *fibrilația atrială*. În acest caz ritmul contracțiilor ventriculelor este complet neregulat, din cauză că atriile nu se contractă în totalitate, ci pe parcele, sub forma unei fibrilații, unei unduiri, ceea ce face ca stimulul pentru contracția ventriculelor să ajungă la acestea în mod neregulat. ECG ne ajută să facem un diagnostic diferențial corect, fapt care are o mare importanță, căci tratamentul este diferit pentru fiecare din cele două afecțiuni cardiace.

Scanned with OKEN Scanner

Podul s-a rupt

Transmiterea excitației de la o fibră miocardică la alta, de la o regiune a inimii la alta se face pe baza unei proprietăți fundamentale a miocardului, care se numește *conductibilitate*.

În condiții normale, excitația parcurge în interiorul inimii întotdeauna aceeași cale : nodul sinuzal — miocardul atrial — nodul atrioventricular — fasciculul lui His și ramurile sale — miocardul ventricular. Dacă însă excitația întîlnește în calea ei o tulburare de conducere, se va produce o alterare a mecanismului fiziologic, care se reflectă *întotdeauna* pe ECG, dar numai *uneori* se evidențiază și clinic [1].

Transmiterea excitației de la atrii la ventricule poate suferi doar o simplă întîrziere (obstacol pe „pod"), care se reflectă pe ECG printr-un interval P—Q mai lung. Cînd alterarea este mai profundă, excitația se transmite la ventricule numai o dată la fiecare două, trei sau patru contracții ale atriilor (bloc

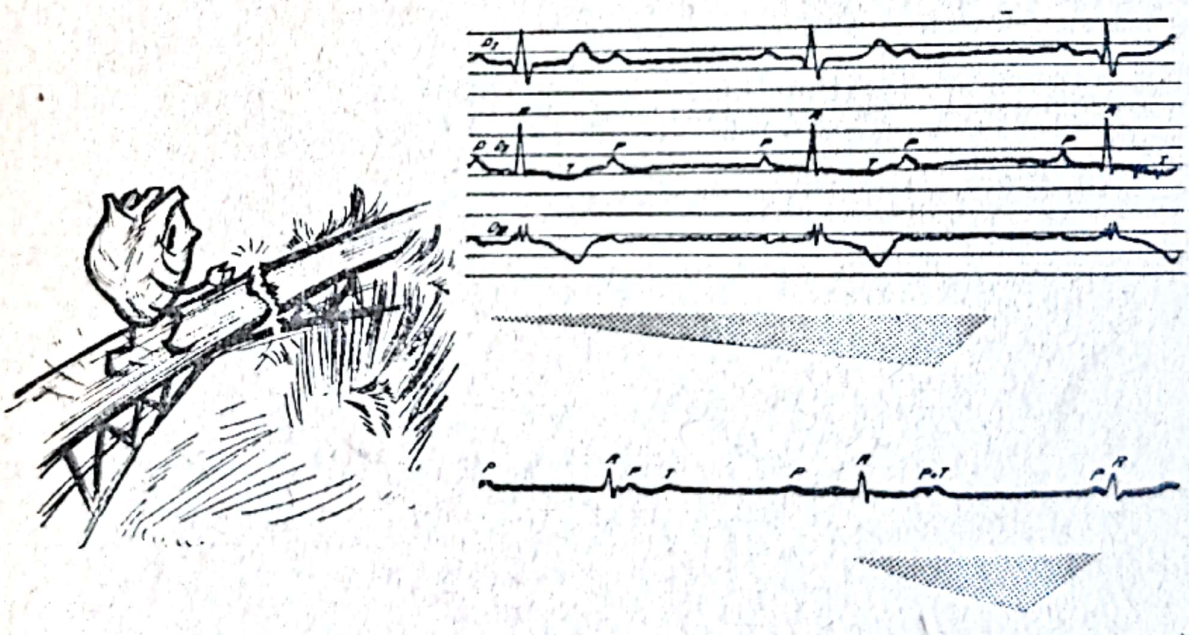


Fig. 13. Aspectul ECG într-un caz de bloc atrioventricular incomplet (sus) și complet (jos).

[1] Ca să înțelegem mai bine acest lucru, să ne închipuim că nodul atrioventricular și fasciculul lui His joacă rolul unui pod care face legătura între atrii și ventricule. Cînd pe acest pod se găsește un obstacol sau cînd podul se rupe, conducerea excitației de la atrii la ventricule este îngreuiată sau este complet întreruptă. Tulburările de conducere au primit denumirea de *blocuri* ale inimii.

Scanned with OKEN Scanner

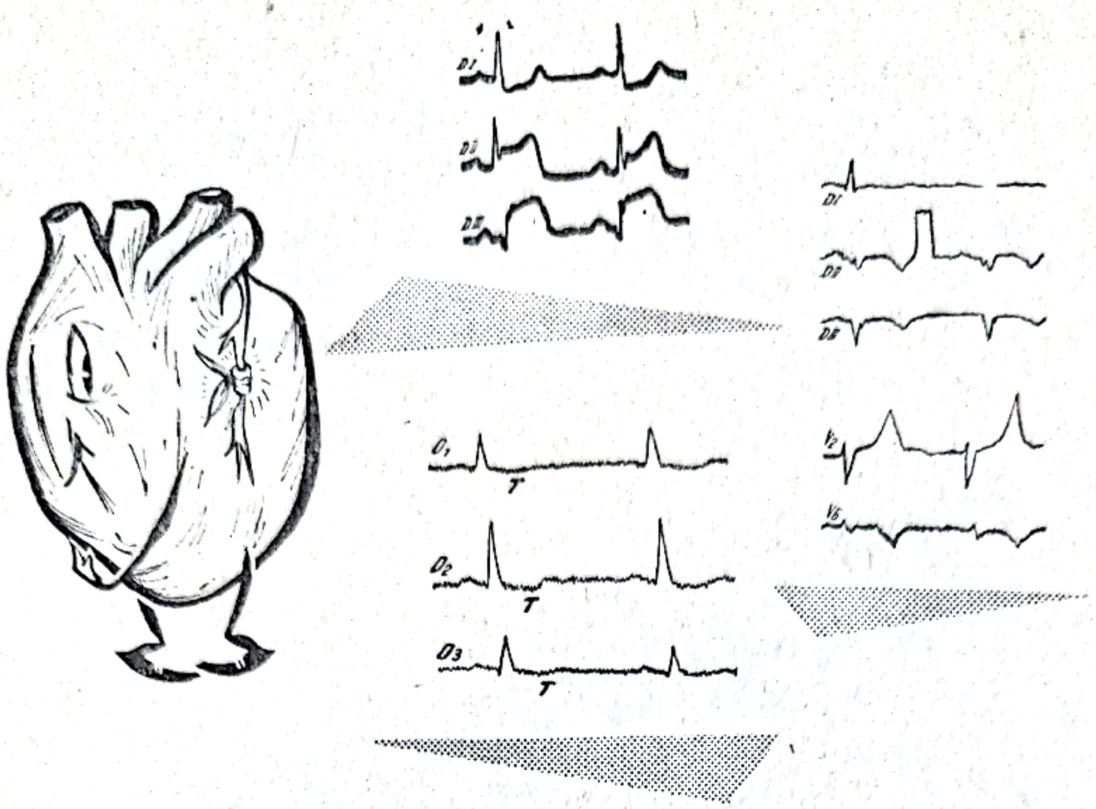


Fig. 14. Aspecte ale ECG în diverse cazuri de astupare a arterelor inimii : infarct miocardic şi angină pectorală (stînga jos).

atrioventricular 2/1, 3/1 sau 4/1), iar pe ECG vom întîlni un complex QRS la două, trei sau — respectiv — patru unde P. Uneori, însă, transmiterea excitaţiei de la atrii la ventricule este complet blocată („podul" este rupt), atriile şi ventriculele contractîndu-se cu frecvenţe proprii, independente una de cealaltă ; în aceste cazuri, ne aflăm în faţa unui bloc atrioventricular complet sau total.

La toţi bolnavii la care se suspectează existenţa unui bloc cardiac, efectuarea ECG este obligatorie, căci numai acest examen poate stabili natura şi localizarea tulburării de conducere.

Cînd se astupă arterele inimii

Statisticile efectuate în numeroase ţări de pe glob arată că principala cauză a mortalităţii o constituie astăzi afecţiunile cardiovasculare. Aproape 50% din oameni mor în urma

Scanned with OKEN Scanner

unei boli cardiovasculare sau a unei complicații a acesteia. Cum se explică acest lucru ?

Se știe că, pe măsură ce omul înaintează în vîrstă, în pereții vaselor sanguine ca și în pereții inimii, țesutul muscular și elastic este înlocuit treptat de țesut conjunctiv, scleros ; se produce așa-numitul proces de *ateroscleroză*. Acesta afectează vasele din întregul organism, inclusiv vasele care hrănesc inima (vasele *coronare*), precum și însuși mușchiul inimii. Din această cauză, aportul de oxigen și de substanțe nutritive la miocard suferă, iar reacțiile biochimice care furnizează energia necesară contracției miocardice sînt și ele alterate. Pe de altă parte, numeroase infecții pe care le suferă omul în decursul vieții (chiar și cele mai banale, cum sînt gripa sau amigdalita), diverse carențe alimentare (cum ar fi lipsa unor vitamine, ca vitamina B_1) sau influențele psihice lasă o amprentă importantă pe calitatea mușchiului cardiac. Din această cauză, inima — organ care trebuie să activeze toată viața și care nu-și poate permite o odihnă mai mare de cîteva zecimi de secundă după fiecare contracție — ajunge cu timpul să nu mai poată face față la solicitările organismului, chiar cînd este vorba de eforturi ușoare. Aceste tulburări se traduc clinic prin dureri în dreptul inimii ce apar chiar la eforturi din ce în ce mai mici, uneori și în repaus. Afecțiunea cardiacă respectivă poartă numele de *angină pectorală*.

Din punct de vedere electric, aceste alterări ale metabolismului miocardic se exprimă prin modificări ale depolarizării și repolarizării miocardului. Cu alte cuvinte, procesul de excitație și de refacere metabolică nu mai decurge în mod uniform în întregul miocard, ci în anumite zone ale miocardului el este întîrziat față de altele. Pe ECG, vom constata în aceste cazuri deplasarea în sus sau în jos, față de nivelul normal, a segmentului S—T sau inversarea undei T în anumite derivații. De aceea, segmentul S—T și unda T au mai fost denumite „segmentul metabolic" al ECG.

Scanned with OKEN Scanner

Trebuie reținut că mulți bolnavi se plîng de dureri în dreptul inimii, fără ca ei să fie în realitate bolnavi de inimă. În aceste cazuri, numai electrocardiograma ne poate spune dacă persoana respectivă este sau nu bolnavă de inimă.

Cea mai gravă afecțiune a inimii și cea care dă procentajul cel mai ridicat de mortalitate este *infarctul miocardic*. Infarctul se datorește astupării uneia dintre ramurile arterelor coronare care aduc sînge la inimă. Ca urmare, zona din miocard corespunzătoare arterei astupate nu mai primește sînge, se necrozează și nu se mai poate contracta. Cu timpul, în urma tratamentului aplicat, zona necrozată se poate cicatriza și inima își reia funcția în condiții aproape normale. Însă, pentru a obține aceste rezultate, este necesar ca tratamentul să fie aplicat cît mai precoce, prima și cea mai importantă măsură terapeutică fiind repausul absolut la pat, menținut timp de cîteva săptămîni.

Punerea diagnosticului, urmărirea tratamentului, aprecierea evoluției bolii, depistarea apariției unor complicații grave nu pot fi făcute, în caz de infarct miocardic, decît cu ajutorul electrocardiogramei. ECG ne arată unde este localizat infarctul, cît este el de întins, cum evoluează el.

Pe ECG, infarctul miocardic se caracterizează printr-o modificare tipică, care constă din apariția unei unde Q adînci și din înglobarea undei T în segmentul S—T, care este mult supradenivelat, în așa fel încît din vîrful undei R și pînă la sfîrșitul undei T apare o singură deflexiune (undă), mult deasupra liniei izoelectrice, descriind o curbă largă cu convexitatea superioară, ca o cupolă. Acest aspect electrocardiografic se întîlnește în primele ore de la producerea infarctului și, după intensitatea lui în anumite derivații, se poate stabili localizarea și întinderea zonei miocardice afectate.

Treptat, pe măsură ce afecțiunea se ameliorează, ECG revine și ea către aspectul normal, trecînd printr-o serie de stadii intermediare cînd mai există unele modificări ale traseelor.

Scanned with OKEN Scanner

Utilizarea electrocardiografiei în clinică

Electrocardiograma a ajuns astăzi un examen de rutină, care se practică nu numai în serviciile de medicină internă sau de cardiologie, ci și în multe servicii de alte specialități.

Chiar și specialitățile chirurgicale ale medicinei recurg în prezent din ce în ce mai mult la electrocardiologie, atît în perioada preoperatorie, cînd este necesar să se aprecieze gradul de rezistență a inimii la operația care va urma, cît mai ales în cursul operației.

Inima este un organ care reacționează foarte ușor la diverse influențe ce se exercită asupra sa sau asupra altor organe și care au răsunet asupra ei. De aceea, în cursul intervențiilor chirurgicale mari, laborioase se înregistrează în mod continuu ECG, pentru a se putea depista la timp apariția tulburărilor cardiace și a se putea lua măsurile necesare.

Electrocardiograma este utilizată, de asemenea, din ce în ce mai mult în cercetările de fiziologie a muncii, de exemplu, în cele care studiază gradul de oboseală și posibilitățile de adaptare la diverse categorii de muncitori, sau în cercetările făcute cu scopul de a aprecia gradul de antrenament al sportivilor.

Trebuie reținut totuși că ECG nu este modificată în toate afecțiunile cardiace, ci numai în cele care influențează desfășurarea normală a procesului de excitație în inimă, care alterează metabolismul normal al miocardului. Există o categorie importantă de afecțiuni cardiace, cum sînt leziunile valvulare, care nu modifică ECG decît atunci cînd se găsesc într-un stadiu avansat. De aceea, ECG nu trebuie considerată decît ca o metodă ajutătoare în diagnosticul bolilor de inimă, care trebuie precedată în mod obligatoriu de examenul clinic al bolnavului.

Scanned with OKEN Scanner

ELECTROENCEFALOGRAMA

Activitatea creierului (care mai poartă denumirea de *encefal)* este însoțită — așa cum se întîmplă la oricare alt organ — de apariția unor manifestări electrice. Acestea pot fi înregistrate cu ajutorul unor electrozi de culegere plasați fie pe pielea capului, fie direct pe scoarța cerebrală (în cursul experiențelor pe animale sau în timpul operațiilor pe creier, la om). În primul caz, înregistrarea obținută se numește *electroencefalogramă,* iar în al doilea caz — *electrocorticogramă.*

Elektrenkephalogramm

În 1875, fiziologul englez R. Caton publică rezultatele unor cercetări întreprinse în cursul anului 1874. Aceste cercetări l-au dus pe Caton la descoperirea unor oscilații „spontane" de potențial între două puncte de pe suprafața creierului ; oscilațiile se modificau dacă ochii iepurelui pe care se făcea experiența erau iluminați cu o lumină continuă sau întreruptă ritmic. Un an mai tîrziu, în 1876, fiziologul rus B. Danilevski observă fenomene similare la cîine.

Anul 1890. La o ședință a Academiei imperiale din Viena, fiziologul polonez A. Beck ține o comunicare despre oscilațiile de potențial ale creierului la cîine. Cu această oca-

Scanned with OKEN Scanner

zie, cineva își aduce aminte că, în 1883, cercetătorul austriac Fleischel von Marxow a depus un plic închis la această academie. Se deschide plicul și se constată că el conține o comunicare asupra unui subiect asemănător: von Marxow descoperise cu cîțiva ani înainte că, la cîinele anesteziat, iluminarea discontinuă a ochilor „evocă" în zona senzorială[1] a scoarței cerebrale apariția unor potențiale sincrone cu stimulul luminos.

Toate aceste cercetări au rămas aproape necunoscute de către masele largi de medici și fiziologi. Acest lucru se datora pe de o parte imperfecțiunii metodelor de înregistrare iar — pe de altă parte — faptului că, pe acea vreme, nu s-a putut prevedea ce valoare deosebită va căpăta, în următorii cîțiva zeci de ani, studiul biocurenților cerebrali, atît ca metodă de cercetare, cît și ca metodă de diagnostic.

Dezvoltarea tehnicilor electronice de amplificare și a dispozitivelor mecanice și electronice de înregistrare concentrează atenția fiziologilor spre cercetarea biocurenților în general. În această ambianță, cercetătorul rus V. V. Pravdici-Neminski face, în 1913, primele studii sistematice asupra activității bioelectrice a scoarței cerebrale la cîine.

La om, prima înregistrare a potențialelor bioelectrice cerebrale a fost făcută de psihiatrul german Hans Berger, în 1924. Acesta a reușit să înregistreze biocurenții cerebrali prin aplicarea unor electrozi în formă de ace în pielea capului, la un bolnav căruia i se făcuse o operație pentru descoperirea creierului. Plecînd de la acest prim succes, Berger începe o serie de studii sistematice asupra biocurenților cerebrali ai omului, identifică două dintre principalele ritmuri ale acestora — ritmul *alfa* (denumit și ritmul Berger) și ritmul *beta* — descrie reacția de oprire a ritmului alfa sub acțiunea unor stimuli luminoși sau acustici, semnalează unele variații ale activității bioelectrice cerebrale în diferite stări fiziologice și patologice. Rezultatele acestor cercetări sînt consemnate în mai multe articole, care văd lumina tiparului începînd din

[1] Zona scoarței cerebrale unde ajung excitațiile declanșate de stimularea organelor de simț (ochi, urechi etc.).

1203

Scanned with OKEN Scanner

anul 1929. În primul articol, prin analogie cu electrocardiograma, Berger denumește variațiile ritmice de potențial de origine cerebrală *Elektrenkephalogramm*.

Lucrările lui Berger au fost reluate, cu o aparatură mai perfecționată, de cercetătorii englezi E. D. Adrian [1] și B.H.C. Matthews, în 1934. Aceștia confirmă concluzia lui Berger că tipurile de ritmuri pe care le-a descris au o origine cerebrală și elaborează o teorie care caută să explice originea acestor ritmuri.

Lucrările lui Berger, precum și cele ale lui Adrian și Matthews au pus bazele unui nou domeniu al fiziologiei și medicinei : electroencefalografia. An de an, paralel cu progresul rapid al electronicii, numărul de laboratoare și de cercetători în acest domeniu a crescut, astfel că, în 1946, se considera că în literatura mondială de specialitate apărea, în medie, un articol despre electroencefalografie pe zi. În prezent, electroencefalografia are o largă aplicare în medicină și nu se poate concepe un serviciu de neurologie sau de neurochirurgie fără laborator de electroencefalografie. Electroencefalografia este folosită, de asemenea, ca metodă de explorare funcțională în psihiatrie și în medicina internă, precum și ca metodă de studiu în cercetările de neurofiziologie și electrofiziologie.

La noi în țară, primele cercetări de electroencefalografie experimentală și clinică au fost făcute încă în 1934, sub conducerea marelui neurolog Gh. Marinescu (1863—1938). Acesta, împreună cu elevii săi — O. Sager, A. Kreindler și N. Ionescu-Sișești — au efectuat cercetări experimentale de electroencefalografie pe animale nou-născute, pentru a urmări procesul de maturizare a creierului, precum și pe animale cu diverse leziuni cerebrale ; de asemenea, aceiași cercetători au făcut numeroase investigații electroencefalografice la bolnavi

[1] E. D. Adrian — renumit electrofiziolog englez (n. 1889), laureat al Premiului Nobel.

Scanned with OKEN Scanner

în comă și la cei suferinzi de epilepsie sau de alte afecțiuni ale sistemului nervos central. Astăzi, metoda electroencefalografică este larg răspîndită în țara noastră și numărul cercetărilor în acest domeniu este în continuă creștere. Cercetările întreprinse în institutele de neurologie, de fiziologie normală și patologică și de endocrinologie ale Academiei R.P.R., precum și în numeroase clinici de specialitate din țară au adus contribuții prețioase atît în ce privește cunoașterea mecanismelor de apariție a unor afecțiuni nervoase grave, cum sînt epilepsia, afazia etc., cît și în ce privește mecanismele de funcționare a sistemului nervos central în condiții normale și patologice.

Înregistrarea electroencefalogramei

Celulele creierului dau naștere unor diferențe de potențial extrem de mici : la persoanele normale, aceste diferențe nu depășesc de obicei 100 μV 1 μV = 1 microvolt = o milionime dintr-un volt). De aceea, pentru a le putea înregistra sub forma unor unde ușor de interpretat, aceste variații de potențial trebuie amplificate. În acest scop, se utilizează în prezent amplificatori electronici care sînt capabili să pună în evidență și să amplifice de sute de mii de ori diferențe de potențial de ordinul a 5—10μ V.

Aparatele cu ajutorul cărora se înregistrează electroencefalograma (EEG) se numesc electroencefalografe [1].

[1] În principiu, înregistrarea decurge în felul următor : pe pielea capului, degresată în prealabil, se aplică electrozii de culegere. Aceștia sînt niște mici plăci de argint clorurat sau oțel inoxidabil, rotunde, avînd un diametru de 0,5-1 cm. Pentru a putea culege biocurenții cerebrali din cît mai multe regiuni, se utilizează un număr mare de electrozi de culegere (de obicei, peste 20), care sînt plasați pe pielea capului după o anumită schemă, ceea ce ușurează interpretarea traseelor înregistrate precum și localizarea eventualelor focare patologice cerebrale. Electrozii sînt fixați și susținuți pe cap cu ajutorul unor benzi din cauciuc, la distanțe egale și în puncte simetrice ale cutiei craniene. De la fiecare electrod pleacă un fir de legătură, a cărui fișă se introduce într-una din intrările numerotate ale unei piese mobile, de obicei în formă de ciupercă și care se numește *portelectrod*. De la această piesă, prin intermediul unui cablu blindat, biocurenții sînt duși mai departe pînă la intrările electroencefalografului propriu-zis.

Scanned with OKEN Scanner

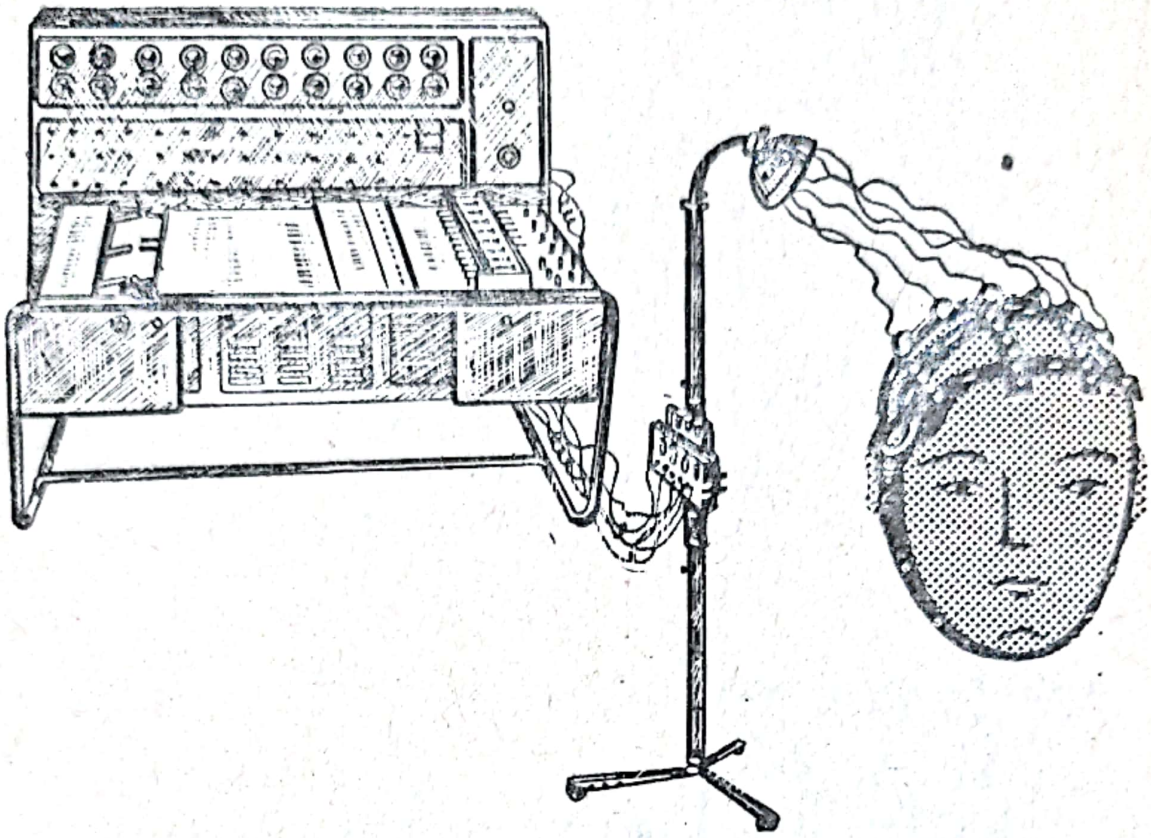


Fig. 15. Înregistrarea electroencefalogramei.

Acestea sînt constituite dintr-un sistem electronic de amplificare a biocurenților (canale de amplificare), un sistem mecanic de înscriere a elementelor grafice care exprimă variațiile de potențial, un mecanism de derulare (cu viteze reglabile) a hîrtiei pe care se face înscrierea cu ajutorul unor peniţe şi o masă de comandă.

Aparatele moderne de electroencefalografie permit înregistrarea simultană a mai multor derivații (de obicei, între 8 şi 20). Fiecare derivație reprezintă variațiile de potențial care iau naştere între doi electrozi.

Trebuie remarcat că, în afară de electroencefalograma înregistrată cu ajutorul electrozilor aplicați pe pielea capului, în cursul operațiilor pe creier, cînd acesta este descoperit, se pot înregistra biocurenții cerebrali prin electrozi aplicați direct pe scoarța cerebrală (electrocorticograma) sau chiar prin electrozi în formă de ace implantați în diverse regiuni de la baza creierului. În acest din urmă caz, dirijarea electrozilor

Scanned with OKEN Scanner

se face cu ajutorul unor aparate speciale (aparate *stereotaxice*), care permit ca, pe baza unor atlase, să se abordeze structurile nervoase situate în profunzimea creierului.

Alfa, beta...

Traseul electroencefalogramei se compune dintr-o serie de unde, care pot fi diferențiate pe baza următoarelor calități : formă, durată, amplitudine și ritm (frecvență).

În ceea ce privește forma, undele EEG pot fi *monofazice*, cînd peniţa inscriptoare efectuează, pornind de la linia de repaus, o deflexiune ascendentă (negativă) sau descendentă (pozitivă)[1], *bifazice*, cînd peniţa descrie o deflexiune ascendentă urmată în continuare de una descendentă (sau invers), sau *polifazice*, avînd mai multe deflexiuni într-un sens și într-altul. Durata undelor EEG se exprimă în milisecunde (1 milisecundă = 1 msec = a mia parte dintr-o secundă), amplitudinea lor — în microvolţi, iar ritmul (frecvența) — în cicli/secundă (c/sec.).

Aplicînd aceste criterii de analiză, pe o EEG normală se pot distinge mai multe tipuri de unde, dintre care cele mai importante, din punct de vedere clinic, sînt undele *alfa*, *beta*, *delta* și *teta*. Să ne oprim puțin asupra lor.

Undele *alfa* au o frecvență care variază între 8 și 12 c/sec, în medie de 10 c/sec, ceea ce înseamnă că fiecare undă durează aproximativ 80—120 msec. Amplitudinea undelor alfa variază între 25 și 100 μV. Undele alfa se întîlnesc cel mai frecvent în regiunea occipitală, adică în regiunea posterioară a creierului. Pentru ca aceste unde să apară, este necesar ca subiectul examinat să stea cu ochii închiși, într-o cameră întunecoasă, în repaus.

Undele *beta* au o frecvență de 15—25 c/sec și o amplitudine care variază între 10 și 30 μV. Ele sînt foarte neregu-

[1] Invers decît la electrocardiogramă, unde am văzut că deflexiunile ascendente sînt pozitive. Aceasta este o convenție stabilită prin normele internaționale de construcție a aparatelor de înregistrare.

Scanned with OKEN Scanner

late, atît ca frecvență, cît și ca amplitudine și se întîlnesc cel mai des la nivelul regiunilor frontale și temporale ale creierului.

Undele *teta* au o frecvență de 4—7 c/sec și amplitudinea de 30—70μV. La adulți, în stare de veghe, se pot înregistra unde teta izolate pe toate derivațiile, însă mai ales la nivelul lobilor frontali și temporali. La copiii mici (3—5 ani), undele teta sînt cele care predomină pe toate traseele EEG.

Undele *delta* sînt cele mai lente și mai ample dintre toate undele electroencefalografice, avînd frecvența de 0,5—3 c/sec și amplitudinea de 50—100μV sau chiar mai mare. În mod

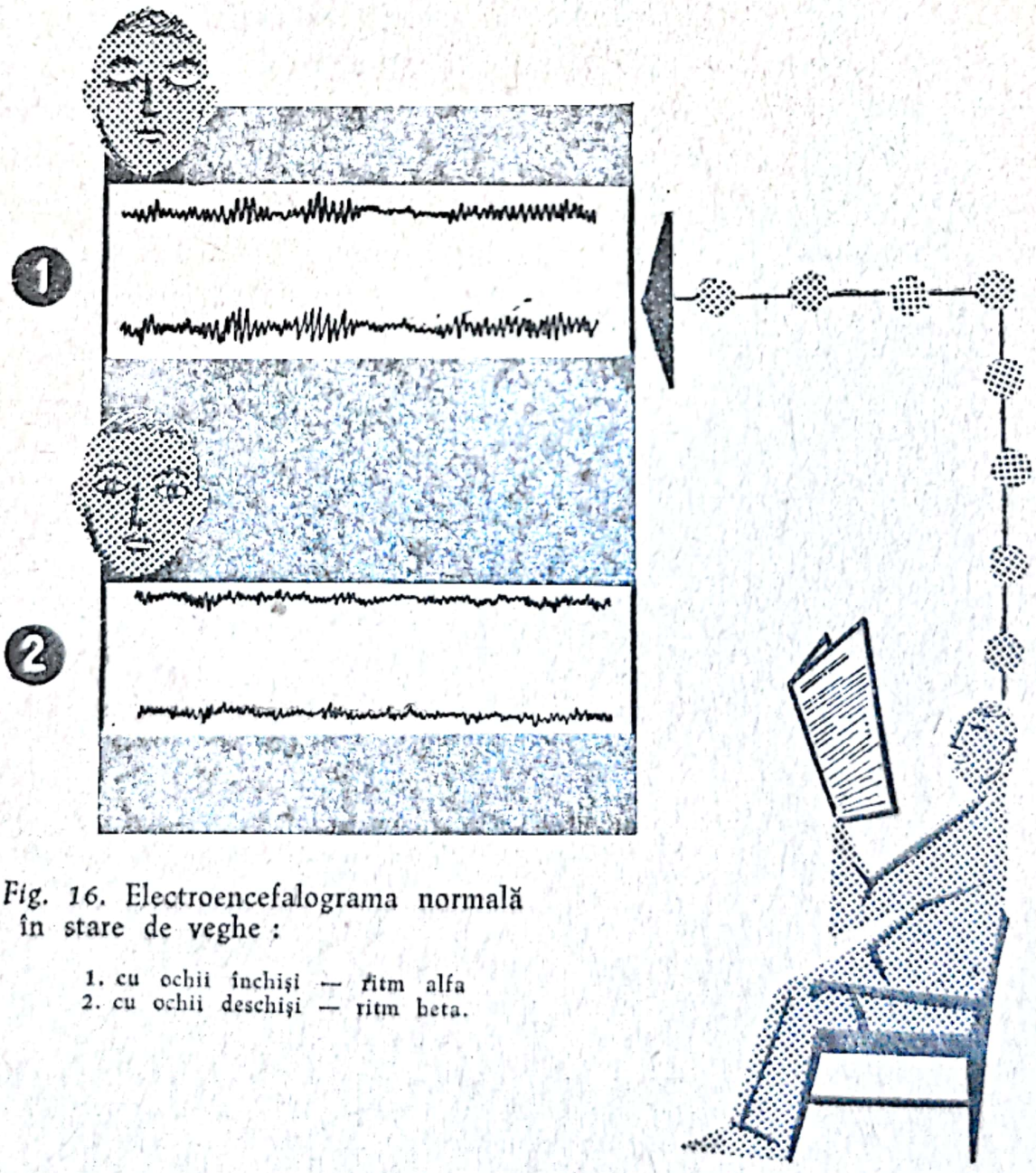


Fig. 16. Electroencefalograma normală în stare de veghe:

1. cu ochii închiși — ritm alfa
2. cu ochii deschiși — ritm beta.

Scanned with OKEN Scanner

normal, undele delta se întîlnesc la copilul foarte mic, care are creierul incomplet dezvoltat, precum și la adult, în timpul somnului profund. Însă, așa cum vom vedea, aceste unde au o importanță deosebită în diagnosticarea unor afecțiuni ale creierului.

Originea biocurenților cerebrali

Electroencefalograma reflectă activitatea bioelectrică cerebrală. Dar, în care structuri ale creierului iau naștere acești biocurenți ? Cum se produc ei ? De la început trebuie să spu-

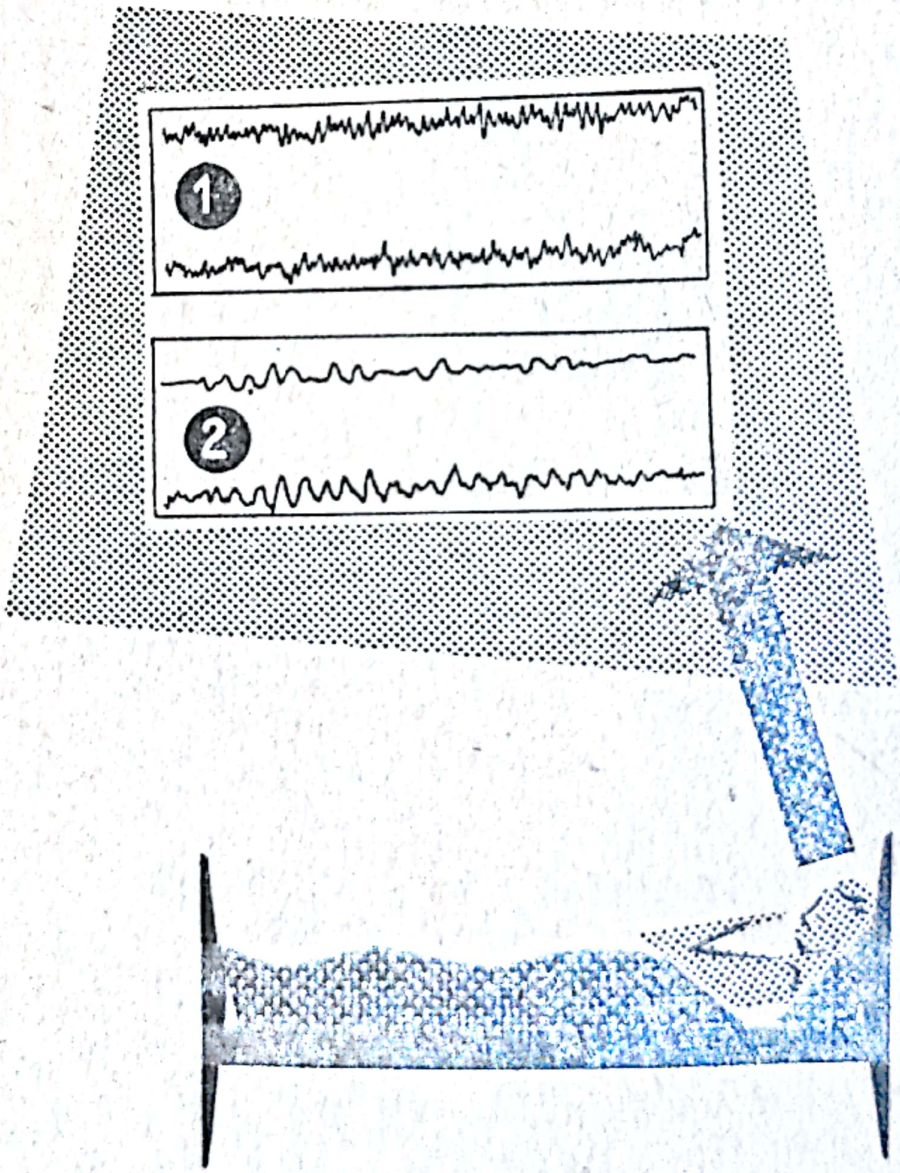


Fig. 17. Electroencefalograma normală în cursul somnului :
1. superficial.
2. profund (unde delta).

Scanned with OKEN Scanner

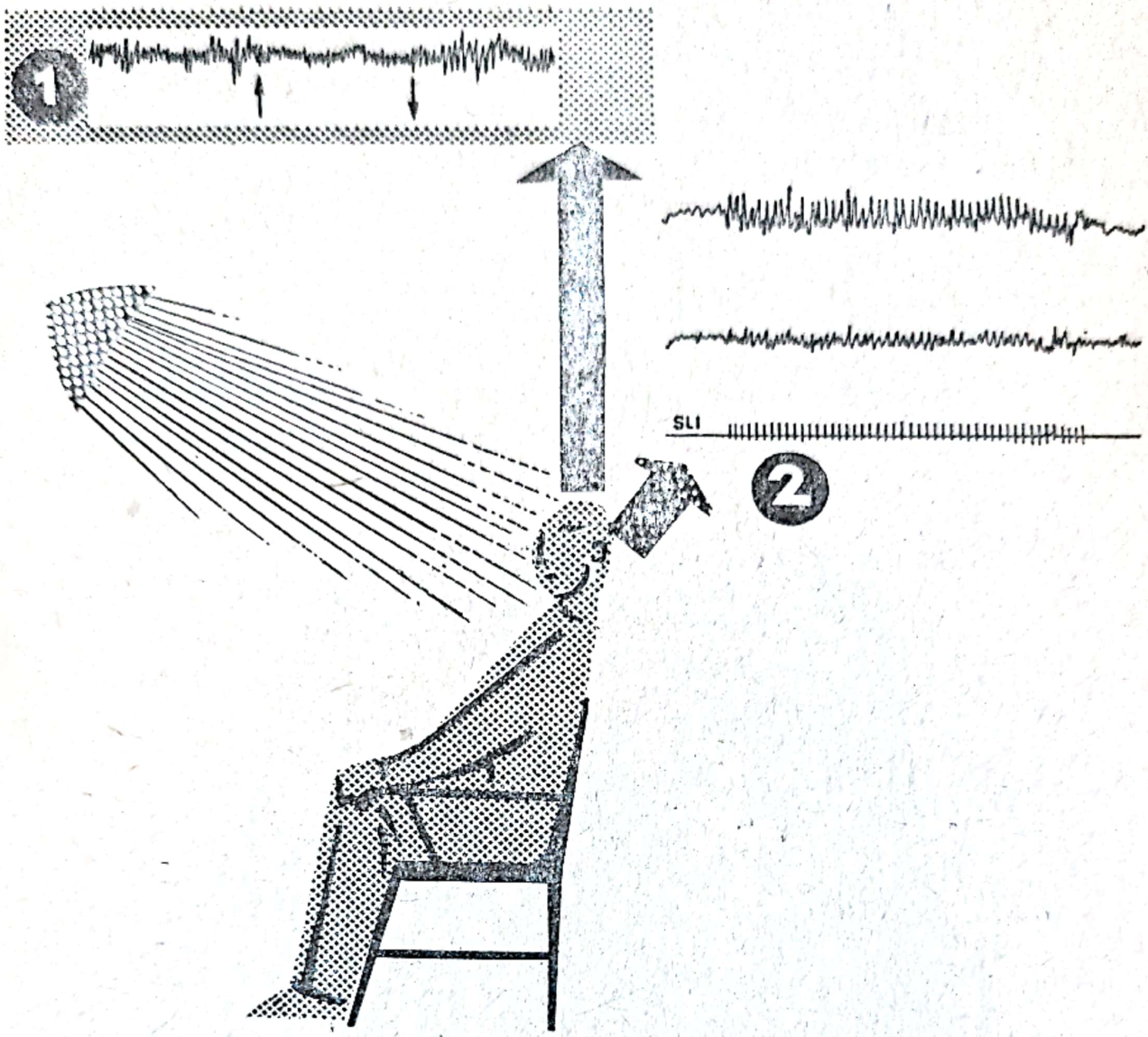


Fig. 18. Electroencefalograma normală în timpul stimulării luminoase :
1. stimul luminos unic (între cele două săgeți) — reacție de oprire a ritmului alfa.
2. stimul luminos intermitent (ritmul stimulării luminoase e figurat pe linia de jos) — se vede însușirea acestui ritm de către activitatea bioelectrică cerebrală.

nem că, pînă în prezent, aceste întrebări nu au primit încă un răspuns precis.

Fără îndoială, activitatea electrică înregistrată pe EEG exprimă activitatea electrică a celulelor care alcătuiesc creierul. Dar creierul conține miliarde de celule nervoase, de neuroni (care se deosebesc între ei atît morfologic, cît și funcțional), fără să mai punem la socoteală numărul imens de celule gliale, acele celule de susținere care umplu spațiile dintre neuroni. Toate aceste celule își manifestă starea lor de activitate și prin producerea de biocurenți.

Scanned with OKEN Scanner

Este ușor să ne imaginăm că nu toate celulele creierului sînt în activitate în același timp. În fiecare clipă, o parte din celule lucrează, iar altă parte se odihnește. Dar acest aspect se modifică de la un moment la altul. În plus, legăturile funcționale și influențele reciproce care se stabilesc între diversele grupuri de neuroni variază încontinuu. În aceste condiții, ar trebui ca electroencefalograma să-și schimbe forma necontenit și să aibă un aspect foarte polimorf, mai mult sau mai puțin haotic. Totuși, atunci cînd înregistrăm EEG, ceea ce ne izbește în primul rînd este caracterul ordonat, ritmic, *sincronizat* al undelor EEG.

Cum se realizează această sincronizare? S-au făcut numeroase cercetări pentru a se explica acest fenomen, dar nici una nu a reușit să lămurească decît unele aspecte ale problemei, deși în aceste cercetări s-au utilizat tehnici extrem de minuțioase, cum sînt: înregistrarea biopotențialelor din diverse straturi ale scoarței cerebrale [1], înregistrarea potențialelor din cîte un singur neuron cortical (cu ajutorul microelectrozilor) concomitent cu înregistrarea activității bioelectrice globale a regiunii corticale respective, înregistrarea concomitentă a potențialelor de la suprafața creierului și din diverse regiuni din profunzimea creierului, construirea de modele fizice, electrice, care simulează activitatea electrică a unui grup de neuroni și răspîndirea „excitației" la alte grupe neuronale etc.

În ce privește locul de origine a diverselor unde ale EEG — deși nici aici problema nu este întru totul lămurită — se consideră că ritmul alfa este generat de anumite regiuni ale scoarței cerebrale (în special regiunea occipitală și — în mai mică măsură — regiunile parietală și temporală); ritmul beta ar fi generat tot de anumite structuri celulare ale scoarței cerebrale, însă altele decît cele care generează ritmul

[1] Scoarța cerebrală se compune, în general, din șase straturi de neuroni, care se deosebesc atît ca aspect, cît și ca funcție.

Scanned with OKEN Scanner

alfa ; ritmul teta ar fi generat de activitatea regiunilor subcorticale, iar ritmul delta ar reflecta perturbații ale activității bioelectrice a regiunilor situate în profunzimea creierului.

Veghe și somn

Să înregistrăm electroencefalograma unui adult normal, în stare de veghe, care stă în repaus, cu ochii închiși, într-o cameră întunecoasă. Vom vedea că undele alfa și beta constituie, în medie, 90% din totalul oscilațiilor înregistrate ; din cînd în cînd, pot apărea unde teta izolate. Raportul dintre undele alfa și beta, este foarte variabil de la individ la individ. Sînt trasee electroencefalografice constituite aproape exclusiv din unde alfa, după cum, pe altele, poate predomina ritmul beta ; între aceste tipuri extreme, se pot întîlni numeroase tipuri intermediare.

Cu totul alt aspect are EEG înregistrată în cursul somnului. Aici, trebuie remarcat că există mari diferențe între EEG din cursul unui somn superficial și cea din timpul somnului profund ; în schimb, nu se constată diferențe electroencefalografice semnificative între somnul natural și cel indus prin diferite medicamente hipnotice.

Din punct de vedere electroencefalografic, somnul superficial se caracterizează prin apariția unor perioade de unde rapide, avînd frecvența medie de 14 c/sec. Somnul profund se manifestă pe EEG prin apariția de unde delta sau unde teta lente (4—5 c/sec) ; întregul traseu este constituit de unde lente, a căror amplitudine și durată variază foarte puțin. Un fapt interesant este acela că, în cursul somnului, traseul EEG are același aspect la toate persoanele, indiferent de tipul de traseu înregistrat în starea de veghe.

Înregistrarea activității bioelectrice cerebrale din cursul somnului are o importanță deosebită, deoarece modificările

Scanned with OKEN Scanner

care se produc în dinamica cerebrală în timpul instalării somnului pot evidenția unele semne de suferință cerebrală care nu se înregistrează pe EEG din starea de veghe.

Reacția „de oprire"

Pentru a se putea evidenția în condiții optime ritmul alfa pe EEG, este necesar ca subiectul examinat să stea în repaus, relaxat, cu ochii închiși, într-o cameră întunecoasă.

Să aprindem o lumină în fața ochilor subiectului : aproape instantaneu, ritmul alfa dispare, fiind înlocuit de oscilații rapide, de amplitudine mică. Această dispariție a undelor alfa sub influența unui stimul extern a fost observată pentru prima oară de Berger și este cunoscută sub numele de *reacția de oprire* sau *de blocare* a ritmului alfa. Această reacție se produce cel mai pregnant sub influența stimulilor luminoși, însă ea poate fi declanșată și de alți stimuli fizici (de exemplu, un sunet) sau psihici (de exemplu, dacă se cere persoanei examinate să facă un calcul mintal sau un efort de atenție).

Studierea diferitelor caracteristici ale reacției de oprire permite să se aprecieze reactivitatea diverselor tipuri de ritm ale EEG și să se tragă concluzii asupra reactivității cerebrale, adică asupra felului cum reacționează creierul la diverși stimuli.

Potențialul „evocat"

Să înregistrăm electroencefalograma unei persoane normale, în condiții de repaus. La un moment dat, să declanșăm brusc în fața ochilor subiectului examinat o lumină suficient de intensă și de durată foarte scurtă. După cîteva fracțiuni de secundă (perioada de „latență"), vom vedea apărînd pe derivațiile care înregistrează activitatea electrică din regiunile occipitale, adică din zona vizuală a scoarței cerebrale, o undă mare, de aspect particular, care a primit numele de *po-*

Scanned with OKEN Scanner

tențial evocat. Cu alte cuvinte, stimulul luminos a „evocat" apariția unui potențial în zona corespunzătoare a scoarței cerebrale. Un fenomen similar se poate observa în zona auditivă corticală, dacă se declanșează un stimul sonor.

Stimulul luminos poate fi unic sau repetat la intervale regulate, cu o anumită frecvență, luînd aspectul unei stimulări luminoase intermitente (SLI). În timpul SLI, se observă modificări ale EEG, și anume, ritmul EEG din regiunea occipitală devine mai amplu și mai ascuțit și poate căpăta frecvența stimulilor luminoși ; acest fenomen a fost numit *însușirea ritmului SLI* sau *antrenare*. Fenomenul apare mai ales cînd frecvențele SLI sînt cuprinse între 7 și 15 c/sec și are mare importanță atît pentru studiile de neurofiziologie, cît și pentru diagnosticul clinic, deoarece în timpul SLI pot apărea pe traseul EEG unde anormale, care trădează afecțiuni grave ale sistemului nervos ; în acest din urmă caz, se spune că electroencefalograma s-a „activat" sub influența SLI.

Normal și patologic

Interpretarea înregistrărilor electroencefalografice constituie o operație destul de dificilă, în primul rînd pentru faptul că variațiile fiziologice ale EEG sînt foarte mari, astfel încît uneori este greu să se stabilească limita dintre aspectul normal și cel patologic, iar în al doilea rînd pentru faptul că un traseu considerat normal în anumite condiții poate exprima o stare patologică în alte condiții,

Alterările patologice ale EEG se manifestă atît prin modificări care interesează amplitudinea și frecvența undelor ce se întîlnesc în mod normal, cît și prin apariția unor unde sau complexe de unde anormale. Dintre acestea, unele indică prezența unor leziuni cerebrale extrem de mici și localizate, în timp ce altele atestă existența unor alterări întinse ale substanței cerebrale.

Scanned with OKEN Scanner

Din primul grup de alterări ce se observă pe EEG, cele mai importante sînt *vîrful*, complexul *vîrf-undă*, și complexul *polivîrf-undă*.

Vîrful este constituit dintr-o undă ascuțită și foarte amplă (150—300 μV). Repetarea acestei unde de mai multe ori pe EEG, în special dacă apare mereu pe aceeași derivație, indică existența unui proces patologic localizat în profunzimea creierului.

Complexul vîrf-undă este alcătuit dintr-un vîrf ascuțit, urmat de o undă lentă. Complexul are o amplitudine mare (200—300 μV) și o frecvență foarte regulată, de 3 c/sec. Prezența acestui complex este caracteristică pentru traseul EEG înregistrat într-o formă particulară de epilepsie, denumită *petit-mal*.

Complexul polivîrf-undă este constituit din mai multe vîrfuri ascuțite și ample, urmate de o undă lentă ; întregul complex are o durată mare (1/2—1 sec). Și această alterare EEG denotă un anumit tip de epilepsie.

Grupul al doilea cuprinde alterările electroencefalografice care traduc tulburări ale activității bioelectrice cerebrale datorită unor procese patologice întinse, ce distrug țesutul cerebral sau îi modifică metabolismul. Aceste alterări se întîlnesc în cazurile de tumori sau abcese cerebrale, de cicatrice sau atrofii cerebrale etc. Ele pot modifica întregul traseu EEG sau se pot limita numai la anumite derivații. Dintre aceste anomalii EEG, cele care au o deosebită importanță din punct de vedere diagnostic sînt : *aplatizarea localizată* a traseului EEG sau dispariția completă a activității electrice *(liniște electrică)* într-o anumită zonă, ceea ce indică, de obicei, existența unei tumori cerebrale la acel nivel ; *sectorul de unde delta*, adică apariția de scurte salve de unde delta pe porțiuni mici ale unor derivații, indicînd existența unui focar patologic chiar în vecinătatea electrodului de înregistrare ; *paroxismele de unde teta*, constînd din salve de unde teta ce se repetă de mai multe ori în timpul înregistrării și care trădează existența unui proces patologic localizat în profunzimea creierului.

Scanned with OKEN Scanner

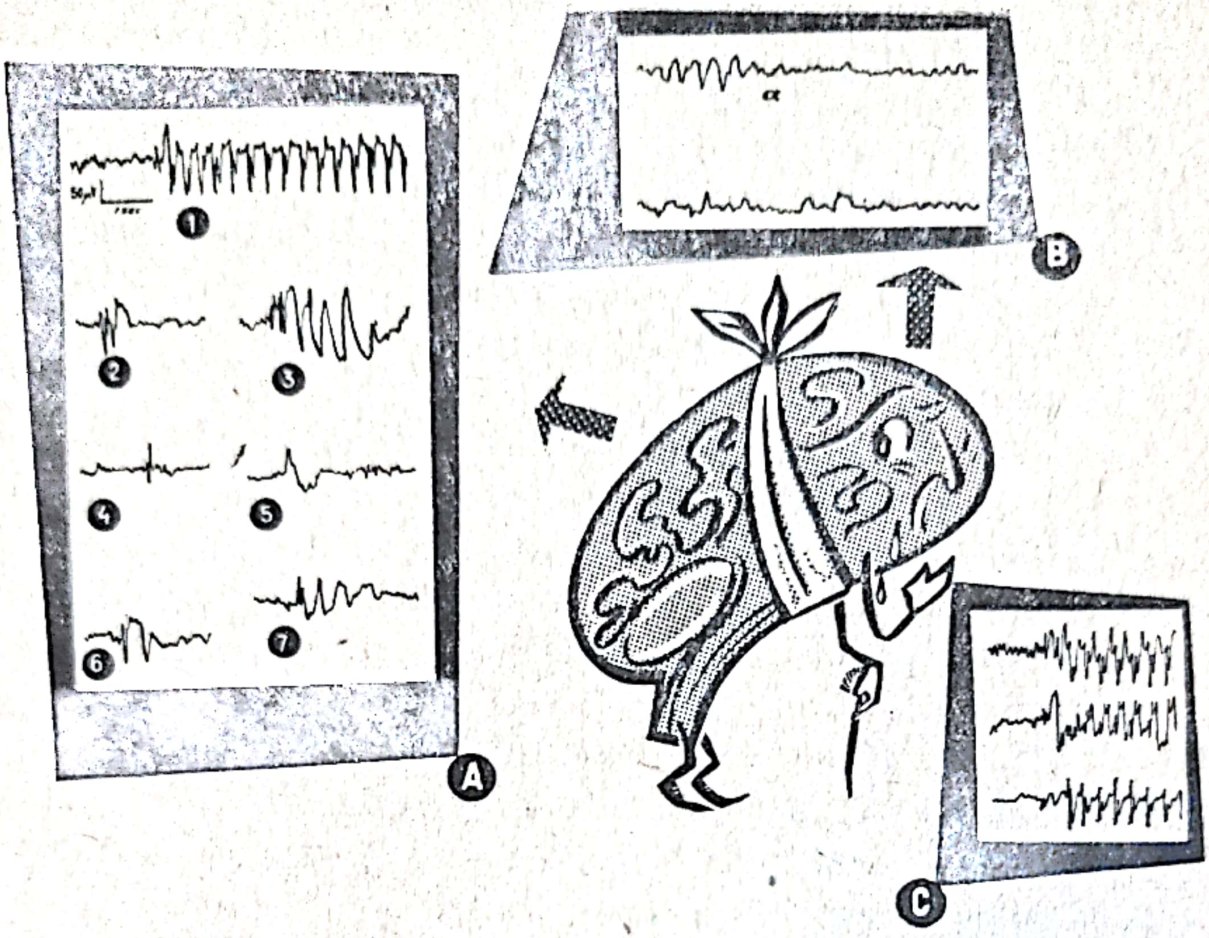


Fig. 19. Electroencefalograma patologică.

A. Diverse tipuri de unde anormale :
1. vîrfuri-unde ; 2. şi 3. polivîrfuri-unde ; 4 şi 5. vîrfuri ; 6. complex vîrf-undă ; 7. vîrfuri-unde.
B. Aplatizare localizată (a) a traseului EEG, care poate fi întîlnită în caz de tumoră cerebrală.
C. Aspect EEG întîlnit în epilepsie.

Într-un mare număr de cazuri, se constată o discordanţă între datele obţinute la examenul clinic şi datele EEG, de pe EEG lipsind anomaliile la care ar fi trebuit să ne aşteptăm în urma examenului clinic. În aceste cazuri, se utilizează o serie de procedee care au drept scop *activarea* EEG, adică uşurarea apariţiei într-un timp limitat a anomaliilor care nu sînt înregistrate spontan în cursul examinării electroencefalografice.

În stabilirea diagnosticului, electroencefalograma aduce servicii extrem de preţioase. Astfel, în intervalul dintre crizele epileptice, boala poate fi diagnosticată în 95% din cazuri numai pe baza examenului EEG. De asemenea, la bolnavii cu tumori cerebrale, EEG poate confirma existenţa tumorii şi

Scanned with OKEN Scanner

arăta localizarea acesteia. Într-o serie de alte afecțiuni ale sistemului nervos sau ale organelor interne, EEG poate ajuta la stabilirea diagnosticului și la aprecierea eficacității tratamentului.

Totuși, ca metodă de diagnostic, EEG are și anumite limite care trebuie cunoscute. Astfel, multe boli ale sistemului nervos central deși modifică EEG, nu o alterează într-un mod caracteristic ; cu alte cuvinte, boala respectivă nu poate fi diagnosticată numai pe baza examenului EEG. Electroencefalograma nu reprezintă decît o metodă ajutătoare de diagnostic, care nu poate înlocui examinarea clinică a bolnavului.

Electroencefalografia în cercetările de neurofiziologie

Înregistrarea curenților electrici ai creierului a permis să se aducă numeroase precizări cu privire la modul de funcționare a acestui organ. Să ne oprim asupra cîtorva exemple.

Să ne închipuim că vrem să studiem drumul pe care-l parcurge în interiorul creierului excitația optică de la retină și pînă la zona vizuală a scoarței cerebrale (lobul occipital). În acest scop, se implantează electrozi de derivație (în formă de ace) în diverse structuri cerebrale presupuse a lua parte la această funcție. În momentul declanșării stimulului luminos, în structurile din creier interesate în transmiterea excitației de la retină la scoarța cerebrală se constată apariția unui potențial „evocat". În felul acesta, se poate stabili cu precizie traseul pe care-l urmează excitația respectivă în interiorul creierului. În mod analog, procedeul experimental amintit poate fi aplicat la analizarea transmiterii intracerebrale a unor stimuli senzoriali diferiți de cei luminoși.

Un model experimental similar a fost utilizat și pentru a se stabili dacă organele interne sînt reprezentate în scoarța cerebrală. În acest scop, s-au stimulat diverse organe interne (de exemplu, s-a provocat distensia stomacului, intestinului, vezicii urinare etc.) și s-au înregistrat potențialele „evocate"

Scanned with OKEN Scanner

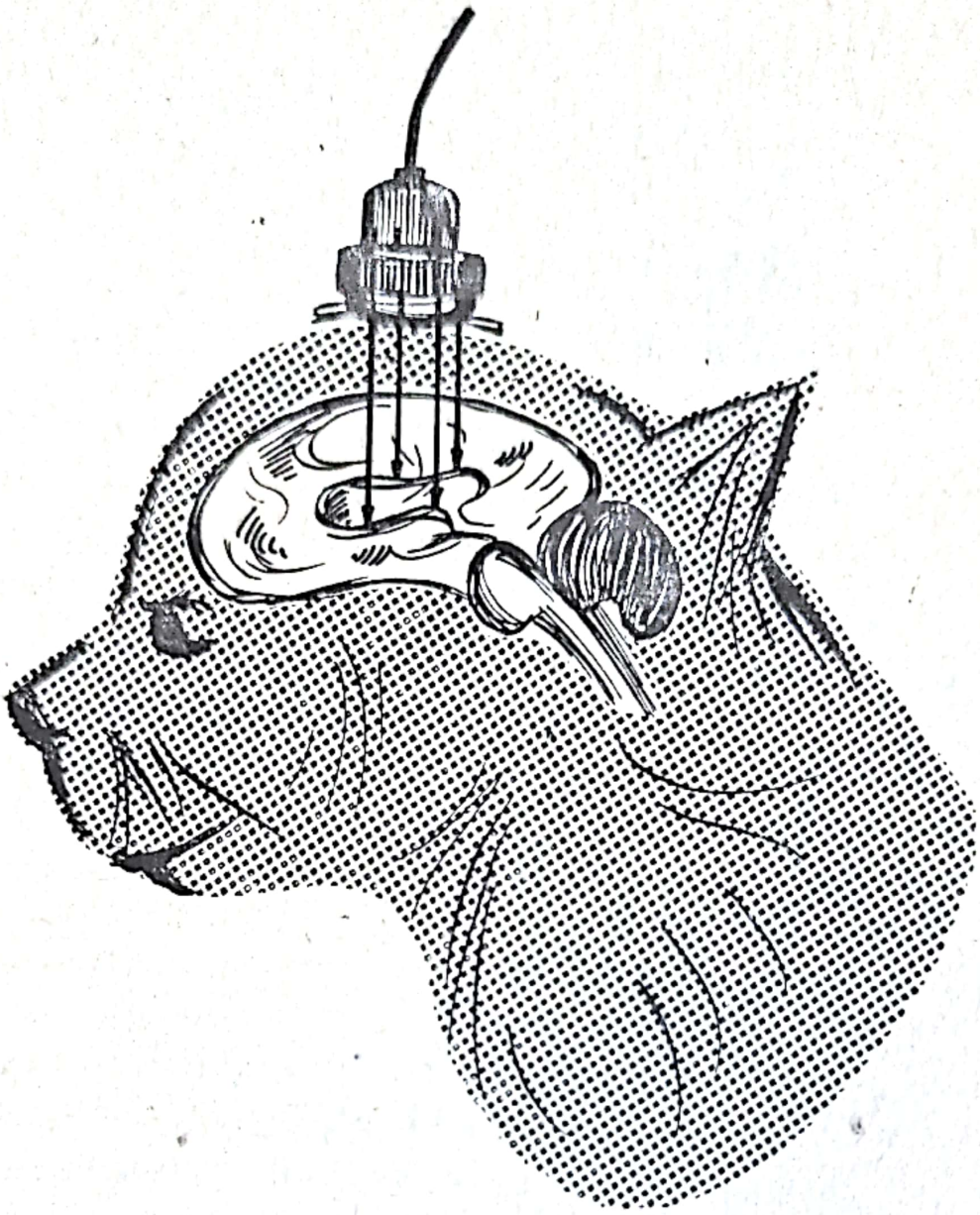


Fig. 20 — Pisică cu electrozi cerebrali cronici.
Electrozii pătrund în profunzimea creierului și sînt sudați la o piesă de legătură fixată pe suprafața craniului. De această piesă se poate atașa, în momentul experienței, un cablu ușor, care merge pînă la electroencefalograf.

corticale, ceea ce a permis să se precizeze unde este localizată „reprezentanța" corticală a organului respectiv.

Înregistrarea biopotențialelor corticale și subcorticale a deschis căi noi în precizarea mecanismelor nervoase ale conexiunii temporare, fenomen ce stă la baza formării reflexului condiționat. În aceste cercetări, s-au utilizat în majoritatea cazurilor animale cu electrozi implantați cronic, adică animale în creierul cărora s-au implantat pe cale chirurgicală mai

Scanned with OKEN Scanner

mulți electrozi, cu cîteva zile sau săptămîni înainte de experiență. În momentul experienței, cu ajutorul acestor electrozi se pot culege biopotențialele cerebrale, animalul fiind în stare de veghe și în condiții normale. Datorită acestor cercetări, s-a putut preciza participarea scoarței cerebrale și a formațiilor nervoase subcorticale în elaborarea reflexului condiționat și s-au putut urmări modificările activității electrice cerebrale în condiții de comportament liber al animalului.

Electroencefalograma și activitatea psihică

Cînd vorbim de curenții electrici ai creierului se ridică în mod firesc o întrebare, și anume : pot oare reflecta acești biocurenți gîndurile și sentimentele omului, activitatea lui psihică atît de complexă ? Să vedem ce răspuns dau la această întrebare datele științifice stabilite pînă în prezent.

Anumite laturi ale activității psihice se pot exterioriza electroencefalografic. De exemplu, un stimul extern sau intern care ne solicită concentrarea atenției determină pe EEG o *blocare*, o *desincronizare* a ritmului alfa. De asemenea, unele forme elementare de memorie pot fi evidențiate electroencefalografic. Chiar și unul dintre mecanismele elementare ale activității psihice, cum este reflexul condiționat, poate fi urmărit electroencefalografic în cursul elaborării sale.

Totuși, ceea ce trebuie reținut este că activitatea psihică extrem de complexă a omului nu modifică într-un mod caracteristic EEG și nu au putut fi descoperite pînă în prezent aspecte EEG care să corespundă anumitor forme de gîndire sau anumitor tipuri de activitate nervoasă superioară. Este suficient să arătăm că oameni foarte inteligenți și oameni „săraci cu duhul" pot prezenta electroencefalograme aproape identice. De altfel, acest fapt nu trebuie să ne mire, pentru că electroencefalograma reflectă numai una dintre multiplele manifestări ale materiei superior organizate care este creierul.

Scanned with OKEN Scanner

TOATE CELULELE VII PRODUC ELECTRICITATE

Privită sub aspectul manifestărilor electrice, materia vie se arată deosebit de unitară. Toate celulele vii — atît cele vegetale, cît şi cele animale — prezintă în condiţii de repaus diferenţe de potenţial între interiorul şi exteriorul celulei. Toate celulele vii îşi manifestă starea de activitate şi prin generarea unor fenomene electrice.

La plante, de exemplu, se poate observa că iluminarea unei porţiuni dintr-o frunză face să apară la acel nivel o negativare a suprafeţei frunzei şi dă naştere unei diferenţe de potenţial între porţiunea iluminată şi cea întunecată a frunzei. Această diferenţă de potenţial, care poate ajunge la 50—100 mV, este rezultatul proceselor metabolice de fotosinteză declanşate de activitatea clorofilei. Un ţesut vegetal fără clorofilă nu mai răspunde la luminare prin negativarea suprafeţei, deşi stimularea electrică aplicată pe ţesut produce totuşi negativare.

Şi potenţialele bioelectrice puternice ale unor peşti sînt de natură identică cu cele de la nervi sau muşchi. Organul electric al peştelui este format din compartimente, conţinînd cîte o celulă (placa electrică) şi aranjate în coloane. Potenţialul de acţiune dezvoltat de o singură placă este de aproximativ 0,15 V, adică similar cu cel găsit în fibrele nervoase sau musculare obişnuite. Aceste plăci sînt aranjate în serie, ca într-un acumulator ; de aceea descărcarea electrică a organelor elec-

Scanned with OKEN Scanner

trice e atît de puternică, putînd ajunge, de exemplu, la peștele *Electrophorus electricus* la 500—600 V.

Țesuturile vii, chiar și cele care par că nu funcționează activ, cum sînt corneea, cristalinul, răspund de asemenea prin curenți de acțiune atunci cînd sînt în stare de excitație. De aceea, de la nivelul fiecărui organ s-au putut înregistra curenți de acțiune și fiecare înregistrare a căpătat un nume în raport cu organul respectiv : electrocardiogramă, electroencefalogramă, electronervogramă, electromiogramă, electroretinogramă, electrodermogramă, electrogastrogramă, electrohisterogramă (înregistrarea activității electrice a uterului) etc.

Unele din aceste metode de înregistrare au căpătat, prin utilitatea lor deosebită, o largă aplicare în clinică și în munca de cercetare ; altele au, deocamdată, numai o valoare de interes teoretic.

Cablurile de legătură din organism

O apăsare aplicată pe piele, o rază de lumină, un sunet, un miros — toți aceștia constituie excitanți care stimulează receptorii din organele de simț. Pentru ca această excitație să se transforme într-o senzație, ea trebuie să ajungă la creier. De aici, se dă comanda pentru intrarea în activitate a diverselor organe. Căile prin care se realizează transmiterea excitației de la receptorii periferici la centrii nervoși și de la aceștia la organele efectoare sînt reprezentate prin fibrele nervoase [1]. Transmiterea excitației este o funcție specifică a fibrelor nervoase, a nervilor, care joacă în organism rolul unor cabluri de legătură între organe și centrii nervoși, precum și între diverșii centri nervoși.

[1] Fibrele nervoase reprezintă prelungiri ale celulelor nervoase care se găsesc situate în sistemul nervos central sau în ganglioni. Lungimea acestor fibre este foarte variabilă (putînd depăși chiar 1 m, cum sînt fibrele care inervează membrele inferioare), ca și viteza cu care ele conduc influxul nervos. Nervii sînt constituiți dintr-un număr mai mare sau mai mic de fibre nervoase.

Scanned with OKEN Scanner

Expresia funcționării fibrei nervoase este impulsul (influxul) nervos ce-și are originea în zona unde s-a produs stimularea și se deplasează cu o anumită viteză de-a lungul nervului. Impulsul nervos este un proces biologic complex, ce se manifestă prin fenomene biochimice, termice, electrice etc.

Transmiterea excitației în lungul fibrei nervoase se exprimă electric prin negativarea zonei în stare de excitație și prin apariția unui potențial de acțiune, care poate fi înregistrat cu ajutorul unui oscilograf catodic. Potențialul de acțiune al nervului are forma bifazică, amplitudinea de 1—2 mV și durata de 1—2 msec.

Dacă pe nerv sau pe celula nervoasă se aplică un stimul unic, se înregistrează un singur potențial de acțiune. Dacă, însă, se aplică un stimul continuu, se înregistrează un număr mare de potențiale de acțiune. În legătură cu aceasta, este interesant faptul că creșterea intensității stimulului se exprimă nu prin creșterea amplitudinii potențialului de acțiune, ci prin creșterea frecvenței potențialelor înregistrate pe nervul respectiv.

Descoperirea potențialului de acțiune al nervului a dat posibilitatea să se lămurească multe aspecte ale fiziologiei nervoase. Astfel, prin înregistrarea acestui potențial (*electronervograma*) s-au putut aduce precizări cu privire la: transmiterea influxului nervos, viteza de conducere a influxului de către fibrele nervoase de diverse tipuri, transmiterea excitației de la o celulă nervoasă la alta și de la nervi la diversele organe, transmiterea excitației în interiorul sistemului nervos central etc.

Cînd ridicăm o greutate

Vrem să ridicăm o greutate. Mușchii care participă la realizarea acestui lucru mecanic se contractă; în timpul contracției, se produc în mușchi modificări structurale, biochimice, termoenergetice, bioelectrice etc.

Să introducem două ace de platină într-unul din acești mușchi. Dacă punem în legătură cele două ace cu un amplifi-

Scanned with OKEN Scanner

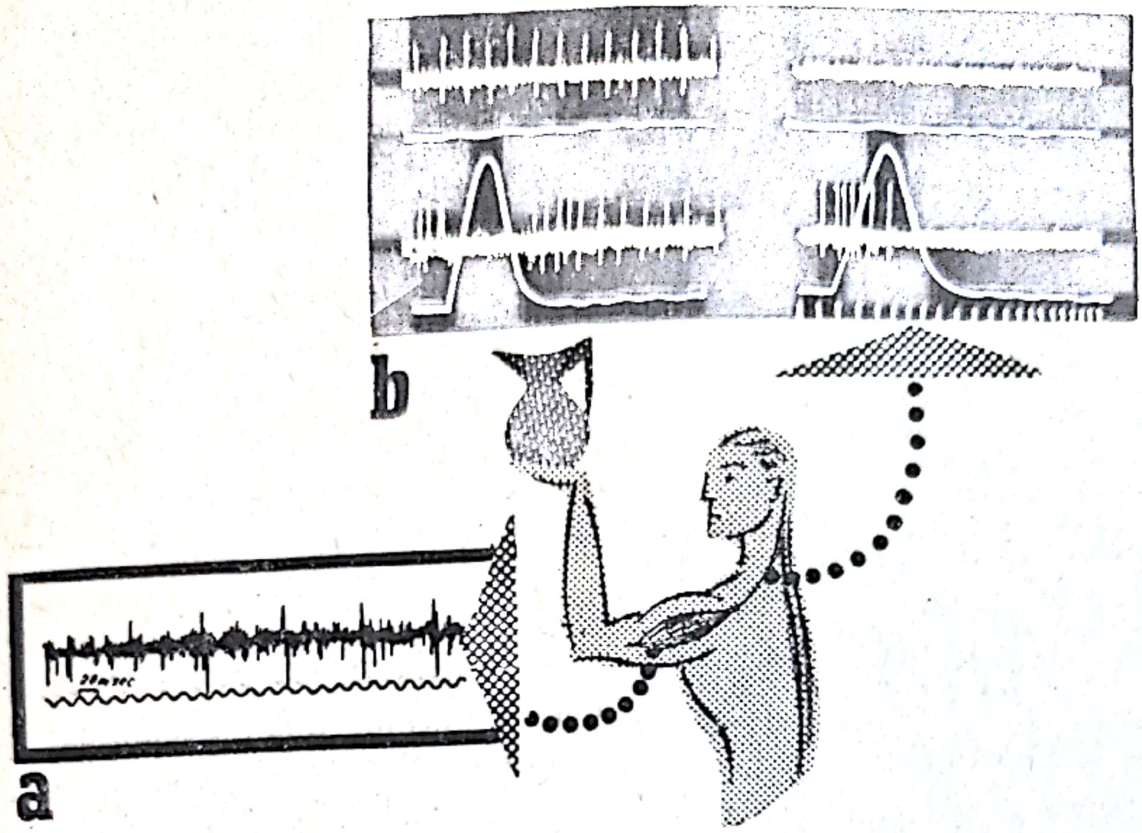


Fig. 21. a. Electromiograma.
b. Electronervograma în cursul stimulării nervului cu diverse intensități.

cator sensibil și apoi cu un oscilograf catodic, vom înregistra o serie de variații de potențial care alcătuiesc *electromiograma* (EMG) și care exprimă însumarea potențialelor de acțiune ale diverselor fibre musculare ce intră în constituția mușchiului respectiv.

Primele tipuri de trasee electromiografice ale mușchiului normal au fost obținute de Piper în 1907, însă metoda a căpătat o extindere mai mare de-abia după 1930, grație perfecționării tehnicilor de amplificare și înregistrare. La noi în țară, primele cercetări de electromiografie au fost făcute între anii 1910 și 1920, de prof. I. Athanasiu, care a folosit pentru înregistrări galvanometrul cu coardă. În ultimii ani, s-au realizat mari progrese în cercetările de electromiografie, care au făcut să se acorde din ce în ce mai multă atenție acestei metode utile de explorare clinică și de cercetare științifică.

EMG nu se poate înregistra în timpul repausului muscular, ci numai dacă mușchiul este în stare de contracție. De

Scanned with OKEN Scanner

aceea, în momentul înregistrării, se cere persoanei examinate să efectueze o ușoară contracție a mușchiului. EMG normală se caracterizează prin potențiale având frecvența de 4—12 cicli/sec, amplitudinea de 300—500 μV și durata de 4—16 msec. Frecvența potențialelor de pe EMG este în raport cu intensitatea contracției mușchiului.

În clinică, EMG s-a dovedit utilă în special în explorarea atrofiilor musculare ; pe baza EMG, se pot preciza cauzele atrofiei și stadiul ei evolutiv.

O rază de lumină

O rază de lumină cade asupra ochiului. Ca să fie „văzută", ea trebuie mai întîi să ajungă la retină, unde declanșează o serie de reacții fizico-chimice și fotochimice complexe ce stau la baza vederii. În același timp, sub influența luminii iau naștere în retină fenomene electrice.

De exemplu, pe o retină izolată de pește se observă un curent de la interior către exterior, straturile interne ale retinei comportîndu-se negativ față de cele externe. De asemenea, la o broască ținută în întuneric timp de cîteva ore, în momentul în care se apropie de ochi un bec electric apar la nivelul retinei curenți de acțiune.

La om, iluminatul brusc și intens al retinei cu lumină albă sau colorată produce oscilații complexe ale curentului retinian. Dacă se așază un electrod sub pleoapă și celălalt în regiunea temporală (corespunzător celor doi poli — anterior și posterior — ai globului ocular), se poate înregistra cu ajutorul oscilografului catodic o *electroretinogramă* (ERG), care redă modificările de potențial ce apar în retină în timpul acțiunii luminii.

Electroretinograma, care a fost mult studiată de fiziologul suedez R. Granit, se compune din patru deflexiuni (unde) : o undă inițială *a* negativă, o undă pozitivă *b* urmată de o undă *c* lentă, iar la sfîrșit o undă *d* pozitivă, ce apare la întreruperea stimulării lumioase. Acest tip de ERG se întîlnește, de re-

Scanned with OKEN Scanner

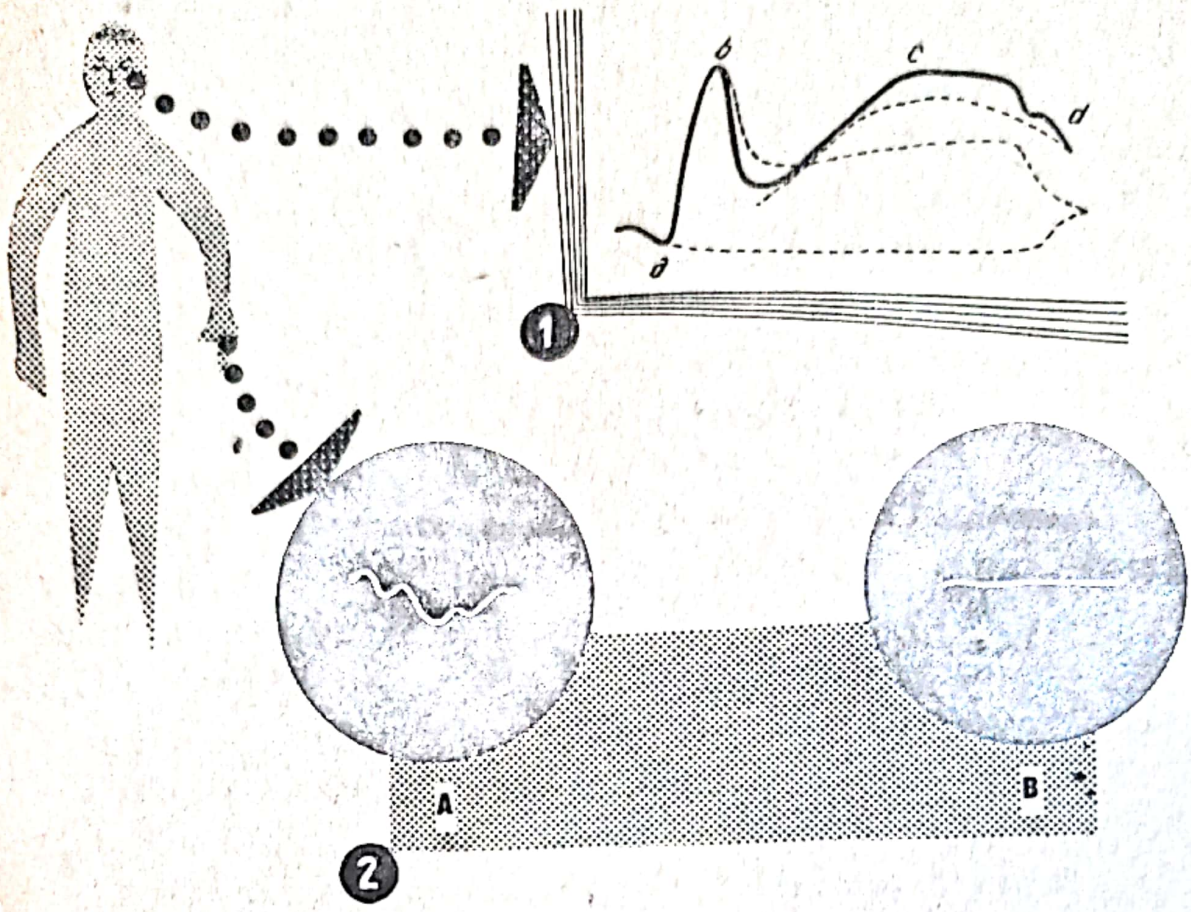


Fig 22. 1. Electroretinograma.
2. Cele două tipuri de electrodermogramă.

gulă, la toate speciile de animale, deși amplitudinea și durata diverselor unde ale ERG pot varia de la un animal la altul.

Electroretinografia și-a găsit aplicarea, pînă în prezent, mai mult ca metodă de cercetare decît ca metodă de diagnostic. În mîinile fiziologilor, însă, ea a contribuit la descifrarea unora dintre mecanismele care stau la baza vederii și a transmiterii excitației optice de la retină la centrii nervoși ai vederii.

Pielea – oglinda organismului

Unei persoane i se comunică o veste, tristă sau bună, care-i provoacă o emoție puternică. Dacă persoana știe să se stăpînească, dacă are „nervii tari", poate să-și ascundă atît de bine emoția încît aceasta să nu se trădeze prin nici un semn vizibil. Există însă anumite reacții care nu pot fi stăpînite, care

Scanned with OKEN Scanner

nu pot fi controlate și care, atunci cînd sînt puse în evidență, ne arată că persoana respectivă se găsește într-o stare psihică particulară. Printre aceste reacții se numără și *reflexul galvanic cutanat* (reflexul *psihogalvanic*), descris de Tarhanov în 1890 și care își găsește expresia electrică în *electrodermogramă*.

Electrodermograma (EDG) înregistrează reflexul galvanic cutanat și ea reprezintă, de fapt, răspunsul electric al pielii la un excitant psihic, vegetativ (excitarea unui organ intern) sau senzorial (excitarea unui organ de simț). Pentru înregistrarea EDG, se culeg potențialele din două puncte ale pielii cu ajutorul a doi electrozi de culegere, uniți cu un sistem de amplificare pentru variații lente de potențial și cu un dispozitiv de înregistrare. Cei doi electrozi se plasează, de obicei, fie pe fața anterioară și cea posterioară a antebrațului, fie în podul palmei și pe dosul acesteia.

Se pot întîlni două tipuri de trasee EDG de repaus. Un prim tip se caracterizează printr-o serie de oscilații spontane, lente, avînd durata de 2—10 sec și amplitudinea de 0,1—0,3 mV. Al doilea tip este reprezentat de un traseu plat, fără oscilații, aproape rectiliniu.

În momentul în care apare un stimul psihic (de exemplu, o emoție puternică), vegetativ (durere plecată de la stomac sau intestin etc.) sau senzorial (sunet, lumină, durere), EDG reacționează în marea majoritate a cazurilor prin apariția unor oscilații de mai mare amplitudine și frecvență decît cele normale.

EDG este utilizată atît în fiziologia experimentală, cît și în cea clinică, în special ca probă pentru determinarea modului de reacție a organismului la diverși stimuli.

Scanned with OKEN Scanner

BIOCURENȚII ÎN SLUJBA VIEȚII

Cunoașterea și înregistrarea curenților electrici produși de țesuturile vii a generat noi metode de diagnostic și de cercetare științifică. Dar acesta nu este singurul rezultat al cunoașterii biocurenților. În ultimul timp, biocurenții au început să capete întrebuințări care, la prima vedere, par destul de greu de imaginat.

Biocurenții acționează protezele

O mînă sau un picior pierdute într-un accident lasă urme adînci nu numai fizice, dar și psihice, asupra persoanei respective. Pînă nu de mult, infirmitatea se corecta prin înlocuirea membrului pierdut cu o proteză mecanică. Construită pe baza unui sistem de pîrghii, proteza mecanică este greoaie și nu poate reproduce decît o parte din funcțiile membrului pe care-l înlocuiește ; ea nu poate reproduce în special mișcările fine.

De aceea, în ultimul timp s-a preconizat construirea unor proteze bazate pe un principiu cu totul diferit. Plecîndu-se de la faptul stabilit de către fiziologi că transmiterea comenzii la musculatura membrelor se efectuează prin intermediul nervilor, că această transmitere a influxului nervos se exprimă electric prin apariția curenților de acțiune, s-a încercat să se capteze acești curenți și, cu ajutorul lor, după o amplificare prea-

Scanned with OKEN Scanner

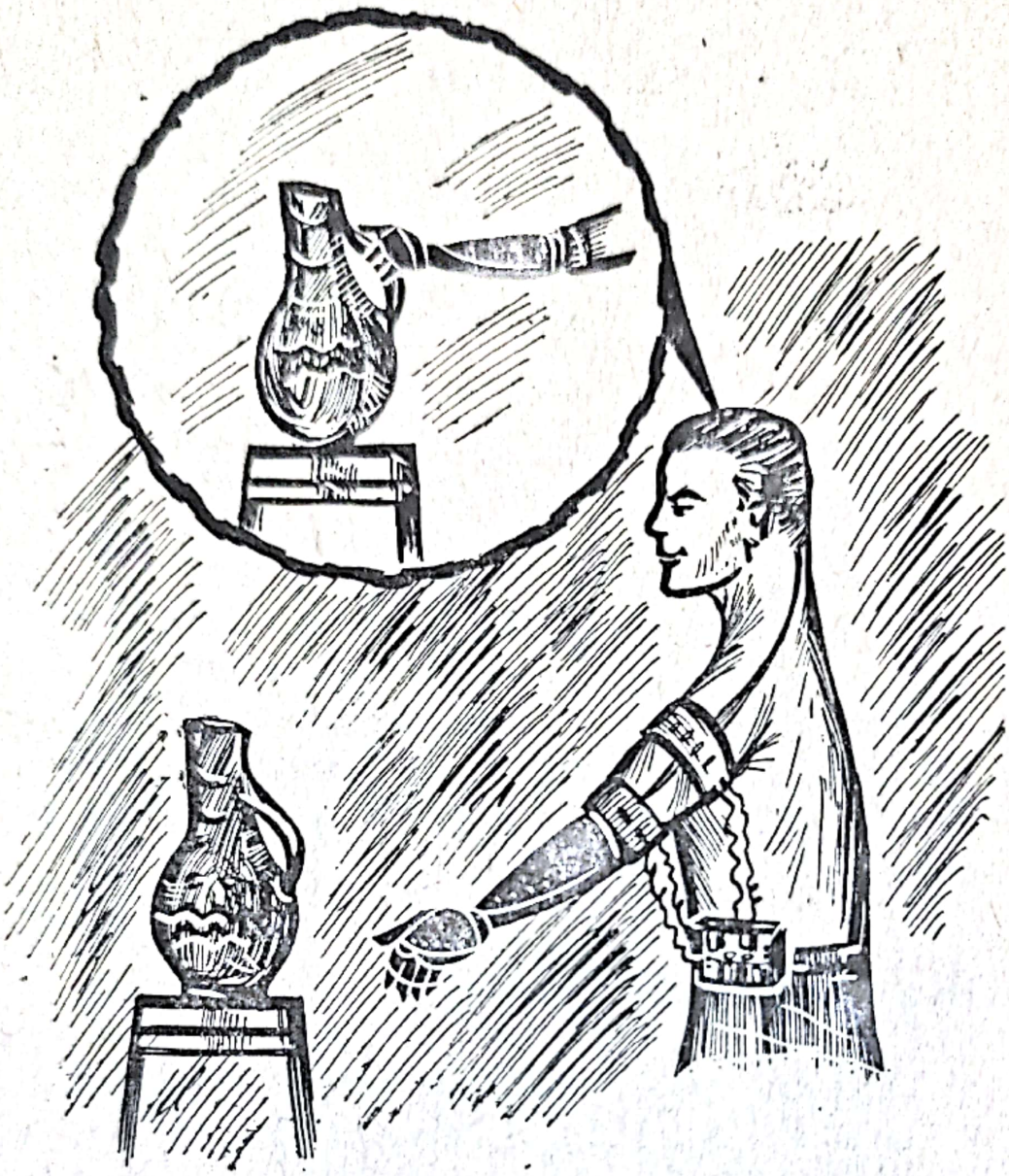


Fig. 23. Proteză acționată de biocurenți.

Persoana respectivă se gîndește că vrea să apuce cana. Creierul transmite comanda nervilor. Biocurenții nervilor sînt captați, amplificați și retransmiși protezei, care intră aproape instantaneu în acțiune.

labilă, să se pună în acțiune diversele pîrghii componente ale protezei, care reproduc mușchii extremității pierdute. Inginerii și tehnicienii au reușit să construiască astfel de proteze ; acestea sînt mult mai comode și sînt capabile să reproducă cu fidelitate chiar mișcări fine ale membrului pe care-l înlocuiesc.

Modul în care funcționează aceste proteze seamănă foarte mult cu condițiile fiziologice : este suficient să ne gîndim că

Scanned with OKEN Scanner

vrem să efectuăm o anumită mișcare, să „comandăm" cu creierul această mișcare, că proteza a și intrat aproape instantaneu în funcțiune.

Biocurenții dau alarma

O complicație foarte gravă, în special în perioada postoperatorie, a intervențiilor chirurgicale asupra inimii sau plămînilor constă în oprirea bătăilor inimii din diverse cauze. Pe de altă parte, există o afecțiune gravă a inimii care se caracterizează prin perioade mai lungi sau mai scurte de oprire completă a activității cardiace. În toate aceste cazuri, bolnavul poate fi salvat numai dacă i se acordă ajutorul medical necesar în primele 2—3 minute de la oprirea inimii. Oprirea activității cardiace nu este anunțată prin nici un semn premergător. Ar însemna, deci, ca fiecare bolnav la care s-ar putea bănui apariția unei asemenea complicații să fie ținut încontinuu sub supravegherea unui cadru medical calificat.

În ultimii ani, această problemă a fost rezolvată mai simplu. Bolnavilor respectivi li se înregistrează în mod continuu electrocardiograma de către un electrocardiograf special, care funcționează automat și care nu necesită supraveghere din partea omului. Acest electrocardiograf este conectat cu un sistem de alarmă ce se găsește în camera personalului medical de gardă și cu un aparat care poate restabili activitatea cardiacă oprită (*resuscitator cardiac*). În momentul în care, dintr-o cauză oarecare, inima bolnavului încetează să mai bată, electrocardiograful declanșează în mod automat resuscitatorul și dă alarma pentru intrarea în acțiune a echipei medicale. În felul acesta, viața bolnavului este salvată.

Un om zboară în cosmos

Un om a zburat în cosmos ! Un vis milenar al omenirii s-a înfăptuit sub ochii noștri ! Dar cîte eforturi au fost necesare pentru a se ajunge aici !

Scanned with OKEN Scanner

Ca să aibă certitudinea că omul va putea suporta bine zborul în cosmos, că organele vitale — creierul și inima — vor face față noilor condiții în care vor fi puse, oamenii de știință au trebuit să facă mai întîi nenumărate experiențe pe animale.

De aceea, primele viețuitoare care au zburat în cosmos au fost animalele. Așa cum știe toată lumea, aceste animale nu erau studiate numai înainte și după zbor, ci chiar în timpul zborului. Cum ? Cu ajutorul biocurenților. La fiecare dintre animalele care au zburat în cosmos, s-au înregistrat în timpul zborului electrocardiograma și electroencefalograma. Biocurenții înregistrați erau codificați la nivelul satelitului în semnale radio, care erau transmise sub forma unor unde radiofonice pe pămînt, unde erau decodificate și retransformate în electrocardiogramă și electroencefalogramă. În urma acestor cercetări s-a ajuns la concluzia că creierul și inima pot suporta în condiții bune zborul în spațiul interplanetar. De-abia atunci, oa-

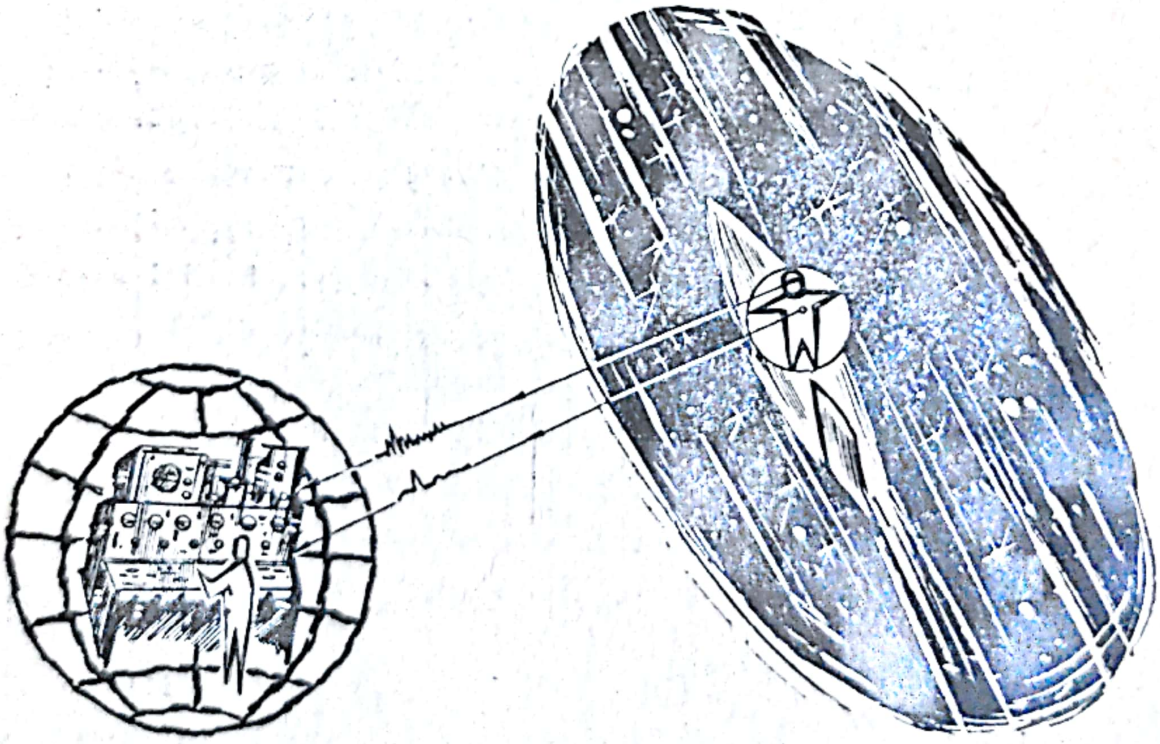


Fig. 24. Teleînregistrarea biocurenților.
În timpul zborului cosmonautului, pe pămînt se înregistrează electrocardiograma și electroencefalograma.

Scanned with OKEN Scanner

menii de știință au putut să-și asume răspunderea trimiterii unui om în cosmos.

A fost necesar, totuși, ca aceste rezultate să fie confirmate și pe oameni. De aceea, toți cosmonauții, atît cei sovietici cît și cei americani, aveau sub costumul de cosmonaut electrozi pentru culegerea electrocardiogramei și a electroencefalogramei și fiecare navă cosmică era prevăzută cu dispozitive pentru retransmiterea acestor biocurenți pe pămînt. Astfel, s-a putut face dovada directă că activitatea cerebrală și cea cardiacă nu se modifică în mod esențial în timpul zborului cosmic.

Acest sistem de înregistrare a biocurenților de la distanță poartă numele de *teleînregistrare*. Cu ajutorul teleînregistrării s-au putut obține, așa cum am văzut, date despre comportarea oamenilor și a animalelor în timpul zborurilor cosmice. De asemenea, prin teleînregistrare s-au putut studia fenomenele de oboseală nervoasă, cardiacă și musculară în procesul muncii la diverse categorii de muncitori (mecanici de locomotivă, mineri, scafandri etc.), în cursul antrenamentului la sportivi, în cursul zborului la piloți. Înregistrarea de la distanță a electroencefalogramei în cursul zborului la piloți permite să se descopere la timp apariția unei stări de somnolență a acestora ; în aceste cazuri, cei aflați la postul de comandă de la sol pot trezi, prin anumite procedee, pilotul sau pot declanșa intrarea în acțiune a „pilotului automat" de la bordul avionului, evitîndu-se astfel un accident grav.

Scanned with OKEN Scanner

ÎNCHEIERE

Electrofiziologia a parcurs, de la începuturile ei și pînă astăzi, un drum ascendent, bogat în realizări. Dezvoltată în strînsă legătură cu progresul tehnicii, electrofiziologia a adus, prin datele pe care le-a furnizat științei în general, noi argumente pentru a demonstra caracterul material al fenomenelor vitale, unitatea materiei vii. Ca orice ramură a științei în plin progres, care pătrunde pe zi ce trece tot mai adînc în esența fenomenelor studiate, electrofiziologia nu poate avea „încheiere".

Nenumărați oameni au putut fi salvați de la moarte, au putut fi vindecați datorită cunoașterii biopotențialelor. La fel, viața multor infirmi a putut deveni mai ușoară prin utilizarea cunoștințelor despre electricitatea animală. Și poate că unii dintre acești oameni, ca și dintre cei care vor zbura în Lună sau se vor opri pe alte planete, știind că organismul lor nu suferă, vor fi uimiți să afle că totul a început, de fapt, de la niște labe de broască care se legănau în bătaia vîntului pe balconul lui Galvani.

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINSUL

INTRODUCERE 5

De la boală la diagnostic 5
Celulele vii produc electricitate 6

SCURTĂ ISTORIE A UNEI MARI DESCOPERIRI 9

O labă de broască se mişcă în bătaia vîntului 9
Laba „galvanoscopică" 10
Curentul „de demarcaţie" 12
Teoria membranei 13
Electrofiziologia şi tehnica secolului al XX-lea 14

ELECTRICITATEA ŢESUTURILOR VII 16

Potenţialul de repaus 16
„Pompele" de sodiu şi de potasiu 18
Potenţialul de acţiune 21
Conducerea excitaţiei 21
Înregistrarea biopotenţialelor 23
Volum-conductorul 27

ELECTROCARDIOGRAMA 29

Fizicianul din Leyda 29
Inima — organ autoexcitabil 31
Inima — sursă de electricitate 33
Electrocardiograma normală 34
Inima „şchioapătă" 37
Podul s-a rupt 41
Cînd se astupă arterele inimii 42
Utilizarea electrocardiografiei în clinică 45

Scanned with OKEN Scanner

ELECTROENCEFALOGRAMA 46

Elektrenkephalogramm 46
Înregistrarea electroencefalogramei 49
Alfa, beta... 51
Originea biocurenților cerebrali 53
Veghe și somn 56
Reacția „de oprire" 57
Potențialul „evocat" 57
Normal și patologic 58
Electroencefalografia în cercetările de neurofiziologie 61
Electroencefalograma și activitatea psihică 63

TOATE CELULELE VII PRODUC ELECTRICITATE 64

Cablurile de legătură din organism 65
Cînd ridicăm o greutate 66
O rază de lumină 68
Pielea — oglinda organismului 69

BIOCURENȚII ÎN SLUJBA VIEȚII 71

Biocurenții acționează protezele 71
Biocurenții dau alarma 73
Un om zboară în cosmos 73

ÎNCHEIERE 76

Scanned with OKEN Scanner

IUBITE CITITOR

Te rugăm să ne spui părerea d-tale despre această carte, cum și despre alte cărți tipărite de Consiliul pentru răspîndirea cunoștințelor cultural-științifice și Editura Științifică, pe care le-ai citit. De asemenea am dori să știm ce broșuri socotești că ar trebui să mai tipărim.

Așteptăm vești de la d-ta pe adresa : Editura Științifică, redacția pentru răspîndirea cunoștințelor cultural-științifice, B-dul Republicii nr. 17, raionul Tudor Vladimirescu, București.

Scanned with OKEN Scanner

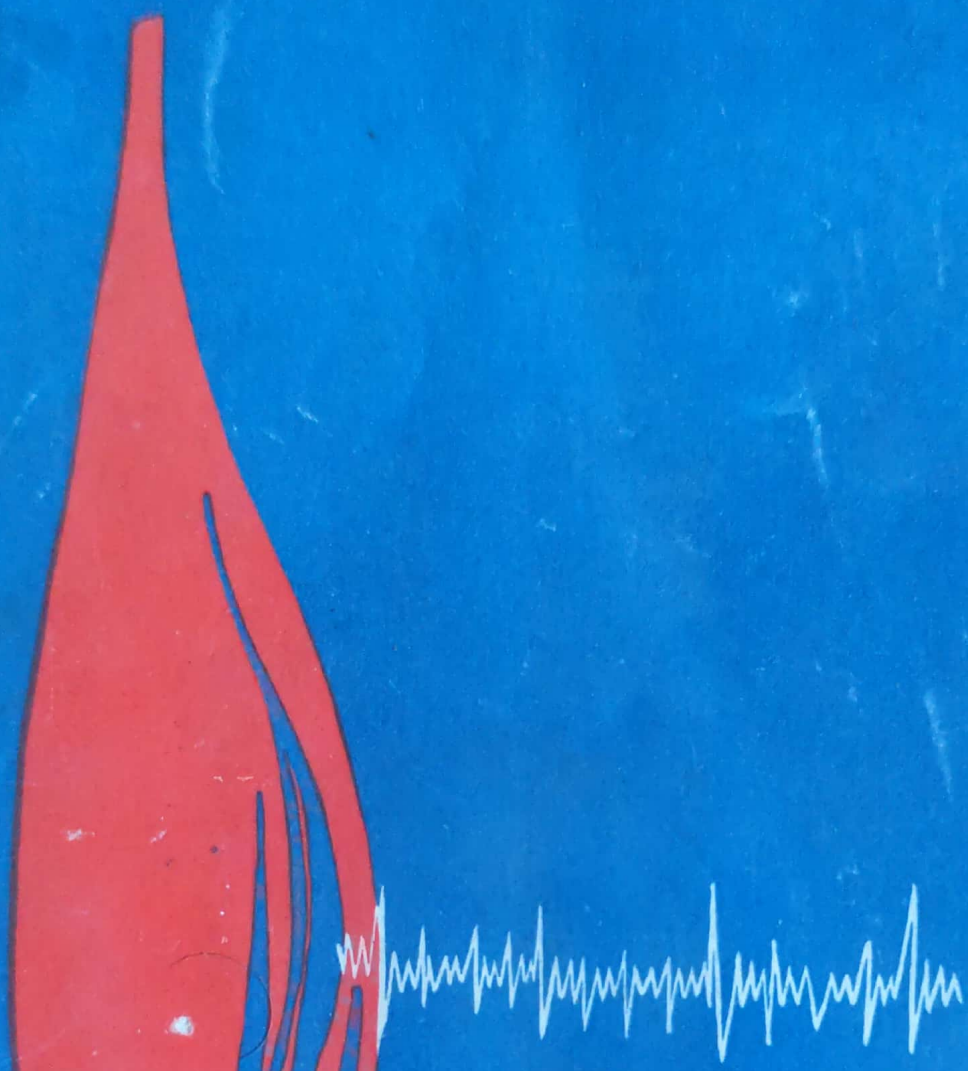
Redactor resp. de carte : CRISTINA BOICO
Tehnoredactor : FLORICA WEIDLE

Dat la cules 09.10.1964. Bun de tipar 09.03.1965. Tiraj 10 000+120 ex. Hîrtie ziar de 50 g/m². Format 54×84/16. Coli editoriale 4,00. Coli de tipar 5. A. 15 675. Indici de clasificare zecimală : pentru bibliotecile mari 577, pentru bibliotecile mici 577.

Tiparul executat sub comanda nr. 40 794 la Combinatul Poligrafic „Casa Scînteii", Piața Scînteii nr. 1, București — R.P.R.

Scanned with OKEN Scanner

Lei 1,50



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ

Scanned with OKEN Scanner